



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
CAMPUS MORELOS

01177
10

REMOCION DE MANGANESO DE LOS POZOS
DEL RAMAL AMPLIACION TLAHUAC-NEZA DE LA CIUDAD DE MEXICO D.F.

MARTIN JUAREZ COYOTE

T E S I S

PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO DE LA

**FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO**

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERIA (AMBIENTAL)

DIRECTOR

M. I. VERGUINIA PETKOVA SIMEONOVA.

Jiutepec Morelos.

291400

2001





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mis padres
A mis hermanos
A mis amigos

A la Subdirección de Desarrollo Tecnológico de la Dirección General de Construcción y Operaciones Hidráulicas, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

A la división de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Campus Morelos, por la formación recibida.

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, por el Apoyo Brindado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Por la beca otorgada

A MIS SINODALES:

M. I. VERGUINIA PETKOVA S.

M. I. LUCIANO SANDOVAL Y.

M. I. MARIA DE LOURDES RIVERA H.

M.I. ANA ELISA SILVA M.

M. I. ANTONIO RAMIREZ G.

Por sus acertados comentarios en la revisión del trabajo.

RESUMEN:

Anteriormente la contaminación del agua se daba básicamente en aguas superficiales, en la actualidad éste problema se agrava cada vez mas debido a la contaminación de los mantos acuíferos, en muchos lugares del país y del mundo, el agua extraída contiene elementos que son perjudiciales para el ser humano, o que por su efecto estético la población la rechaza exigiendo un mejor servicio, tal es el caso del agua de los pozos del ramal Ampliación Tláhuac –Neza” que contiene concentraciones de manganeso fuera de norma por lo que es necesario remover.

En este trabajo se presenta el estudio de la remoción del manganeso mediante un método conocido como oxidación –adsorción empleando como medio filtrante un lecho dual de arena y antracita que se recubre por óxidos de manganeso MnO_2 (pirolusita) a medida que avanza la operación de la planta. Aunque ya existen plantas con este tipo de lechos filtrantes, no se había dado el enfoque con la finalidad de remover este contaminante.

El proceso estudiado para la remoción de manganeso, el cual consistió en una oxidación (dosificación en línea de NaOCl a punto de quiebre); mezclado en línea (mezclador estático) y filtración (retención de materia insoluble generada por la oxidación con NaOCl), presentó un alto grado de eficiencia (entre 95 – 98 %) en la remoción del manganeso, con ello se obtiene un tipo de agua que cumple con la normatividad establecida en materia de agua potable [NOM 127-SSA1]

Con los resultados de este trabajo, se puede asegurar que la antracita es un material altamente eficiente en la remoción de manganeso y, por lo que se sugiere emplearlo en el empaque de los filtros de nuevas plantas de tratamiento además, considerando que ya existen plantas de tratamiento en la Ciudad de México que emplean este material de empaque en las columnas de filtración, puede reorientarse su funcionalidad para remover manganeso.

INDICE GENERAL

	Pag.
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	6
HIPÓTESIS	6
CAPITULO 1. MARCO TEORICO.	7
1.1 Revisión de normas nacionales e internacionales que regulan la concentración de minerales en el agua potable.	8
1.2 Evaluación de la calidad del agua del ramal de pozos Ampliación Tlahuac – Neza.	10
1.2.1 Recopilación y procesamiento de datos históricos del monitoreo de los pozos	10
1.2.2 Balance de materia del agua de los pozos	11
1.2.3 Identificación de los contaminantes que exceden la normatividad vigente.	12
1.3 Mezcladores estáticos	13
CAPITULO 2 EL MANGANESO	16
2.1 Aspectos generales del manganeso.	17
2.2 Química del manganeso	18
2.2.1 Reacciones del manganeso Mn(II) con oxígeno	20
2.2.2 Reacciones del manganeso Mn(II) con dióxido de cloro	20
2.2.3 Reacciones del manganeso Mn(II) con ozono	20
2.2.4 Reacciones del manganeso Mn(II) con permanganato de potasio	21
2.2.5 Reacciones del manganeso Mn(II) con hipoclorito	22
2.2.6 Análisis estequiométrico del manganeso	22
2.3 Alternativas de remoción del manganeso, ventajas y desventajas	26
2.3.1 Técnica de remoción de Manganeso Mn(II) por arena verde de manganeso.	26
2.3.2 Secuestro o estabilización de iones de manganeso.	27
2.3.3 Intercambio iónico	28
2.3.4 Tratamiento con cal (ablandamiento)	28

2.3.5	Eliminación del manganeso por aereación (oxidación), sedimentación y filtración.	28
2.3.6	Oxidación In – Situ.	29
2.3.7	Remoción de Mn(II) por un medio filtrante recubierto de óxido	29
CAPITULO 3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL		33
3.1	Modelo experimental	34
3.1.1	Descripción de la planta experimental.	34
3.1.2	Operación y flexibilidad de efectuar cambios.	35
3.1.3	Reactivos y materiales utilizados para la operación del tren.	37
3.1.3.1	Material de filtración	38
3.1.3.2	Dosis de cloro al punto de quiebre	39
3.1.4	Parámetros de estudio	40
3.1.4.1	Espesor del lecho filtrante	40
3.1.4.2	Fluidización del lecho	40
3.1.4.3	Tasa de retrolavado	48
3.2	Mediciones de campo y laboratorio	48
3.2.1	Determinación analítica de la demanda de cloro y cloro residual	48
3.2.2	Determinación analítica de turbiedad y color.	49
3.2.3	Determinación analítica del manganeso	49
3.2.4	Mediciones de la tasa de operación y retrolavado, pérdida de presión, y expansión del lecho.	49
CAPITULO 4 ANALISIS DE RESULTADOS.		50
4.1	Resultados del análisis granulométrico	51
4.2	Resultados de la prueba de demanda de cloro	54
4.3	Profundidad del lecho filtrante.	55
4.3.1	1.- Antracita 20 cm – Arena 40 cm.	55
4.3.2	2.- Antracita 40cm – Arena 20cm.	60
4.3.3	Determinación de los cloruros	62
4.3.4	Determinación de los cloruros	65
4.4	Pruebas de fluidización del lecho filtrante para la determinación de la tasa de retrolavado.	67
CONCLUSIONES		71

BIBLIOGRAFIA	72
ANEXO A.	77
Base de datos de los históricos de calidad de los pozos del ramal Ampliación Tlahuac – Neza.	
ANEXO B	
Base de datos de las pruebas de fluidización del lecho	88
ANEXO C	
Base de datos de las pruebas de filtración y retrolavado	93
ANEXO D.	111
Base de datos de los análisis de laboratorio. Mn, Cloruros, Cl _{res} , libre, Color.	
ANEXO E.	116
Base de datos del análisis matemático de la hidráulica de retrolavado	

INDICE DE TABLAS.

Tabla		Pag.
1.1.	Límites permisibles de concentración de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológico del agua potable emitidos por varios organismos internacionales, OMS, CEE, EPA y NOM 127-SSA1-1994.	9
1.2.	Valores máximos de cada parámetro para cada pozo en estudio	11
1.3	Balance de materia del agua del ramal "Ampliación Tlahuac - Neza".	12
1.4	Identificación de parámetros fuera de norma.	13
2.1	Manganeso soluble en equilibrio	24
2.2	Efecto del pH en la oxidación del manganeso manganoso por aire disuelto sin agitar.	29
3.1	Propiedades físicas del hipoclorito de sodio	39
3.2	Resultados del análisis matemático del lecho de filtración	46
4.1	Análisis granulométrico de la arena sílica	51
4.2	Análisis granulométrico de la antracita	52
4.3	Propiedades de la arena y antracita	52
4.4	Prueba para determinar la dosis óptima de cloro	54
4.5	Expansión del lecho limpio durante las pruebas de fluidización	67
4.6	Resultados de la operación de retrolavado a diferentes tasas.	69

INDICE DE FIGURAS

Figuras	Pag.
i-1	4
i-2	5
1.1	14
1.2	15
2.1	19
2.2	25
2.3	30
2.4	31
2.5	32
3.1	34
3.2	37
3.3	44
3.4	47
3.5	48
4.1	53
4.2	53
4.3	55
4.4-a	56
4.4-b	56

4.5	Comportamiento del manganeso durante la experimentación [antracita 20cm, arena 40cm]	59
4.6	Cloro residual libre y cloro residual total en el efluente del proceso [antracita 20cm – arena 40cm]	59
4.7	Distribución de la pérdida de carga en el lecho filtrante [antracita40cm – arena 20cm]	60
4.8	Avance de pérdida de carga en el lecho de 40 cm antracita	61
4.9	Distribución del avance de la pérdida de carga en el lecho de 20cm de arena	61
4.10	Avance de la pérdida total de la carga en el filtro	62
4.11	Comportamiento del manganeso en la segunda parte de la experimentación [antracita40cm – arena20cm]	63
4.12	Comparación del manganeso y el color en el influente del proceso [Antracita 40cm - arena 20cm]	63
4.13	Comparación del manganeso y el color en el efluente del proceso [Antracita40cm – arena20cm]	64
4.14	Turbiedad en el efluente del proceso	64
4.15	Relación del cloro adicionado y cloro residual total en el efluente del proceso	65
4.16	Comportamiento de los cloruros durante la experimentación con lecho de 20cm de antracita-40cm de arena	66
4.17	Cloruros en el efluente de la experimentación con lecho de 40cm de antracita y 20 cm de arena	66
4.18	Pérdida de carga a diferentes tasas de retrolavado	69
4.19	Expansión del lecho filtrante a diferentes tasas de retrolavado	69

INTRODUCCION

INTRODUCCIÓN

El Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica [D.G.C.O.H.], ha venido evaluando la calidad del agua de los pozos del ramal Ampliación Tláhuac – Neza continuamente desde su entrada en operación en 1985, con el fin de diagnosticar la incidencia de sustancias y elementos que repercutan en la calidad del agua y la hagan inadecuada para consumo directo.

Debido al creciente reclamo de la población de la Ciudad de México que recibe agua de mala calidad, el gobierno del Distrito Federal ha puesto especial atención en el agua que se extrae de los mantos acuíferos, por tal motivo se han venido realizando desde 1996 estudios para mejorar su calidad y así obtener parámetros de diseño para construir plantas de tratamiento a pie de pozo, principalmente en la zona sur- oriente de la ciudad, la cual recibe el mayor volumen de agua de mala calidad.

Las pruebas experimentales realizadas han sido diversas, dependiendo de los contaminantes que presente el agua será el tratamiento que se le dé. Para el caso específico del ramal Ampliación Tláhuac – Neza, el principal contaminante es el manganeso, por lo que el objetivo principal será encontrar las condiciones óptimas de operación de un tren de tratamiento que permita remover eficientemente dicho contaminante, pero que además, dadas las limitaciones de superficie para la instalación de la planta, se requiera un mínimo de equipos.

La subdirección de Desarrollo Tecnológico (de la D.G.C.O.H.) lleva a cabo estudios para remover el manganeso mediante la técnica de oxidación –filtración rápida, en este caso se empleó como agente oxidante el hipoclorito de sodio y como lecho filtrante se utilizó un medio dual de arena - antracita. Esta técnica se ha venido perfeccionando a través del tiempo experimentando con diferentes agentes oxidantes y materiales filtrantes en diversos lugares del mundo tratando de encontrar los elementos apropiados con los cuales se obtenga la mayor eficiencia. Así por ejemplo, Cox C. R. 1965 experimentó con tierras

diatomáceas obteniendo remociones bajas; Rice R. P., and Netzer A. (1984) realizaron estudios para remover manganeso oxidando los iones con ozono y filtrando los óxidos en carbón activado granular obteniendo buenos resultados, la desventaja es que la oxidación con ozono resulta muy caro. En el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA], han realizado estudios, en los cuales emplearon como material filtrante la zeolita natural denominada *Clinoptilolita* [Petkova V., Flores L. 1993; Petkova V. 1997; Petkova V, Rivera M. L., Iliev M. 1999], mediante el cual se obtuvieron buenos resultados.

La población beneficiada con la realización de este trabajo será la que se encuentra ubicada en la zona Sur- Poniente de la delegación Iztapalapa y la población de la zona Nor-Oriente de la delegación Xochimilco (Figura i-1), ya que el ramal de pozos Ampliación Tlahuac – Neza se encuentra ubicado en la avenida Canal de Chalco la cual sirve como limitrofe de las delegaciones antes mencionadas (Figura i-2).

El gasto total de agua que será sometida a tratamiento es de 426 lps, con ello se beneficiará aproximadamente a 184, 000 habitantes de la zona, considerando un gasto de 200 litros por día por persona.

Figura i- 1 Localización de las delegaciones Xochimilco – Iztapalapa.

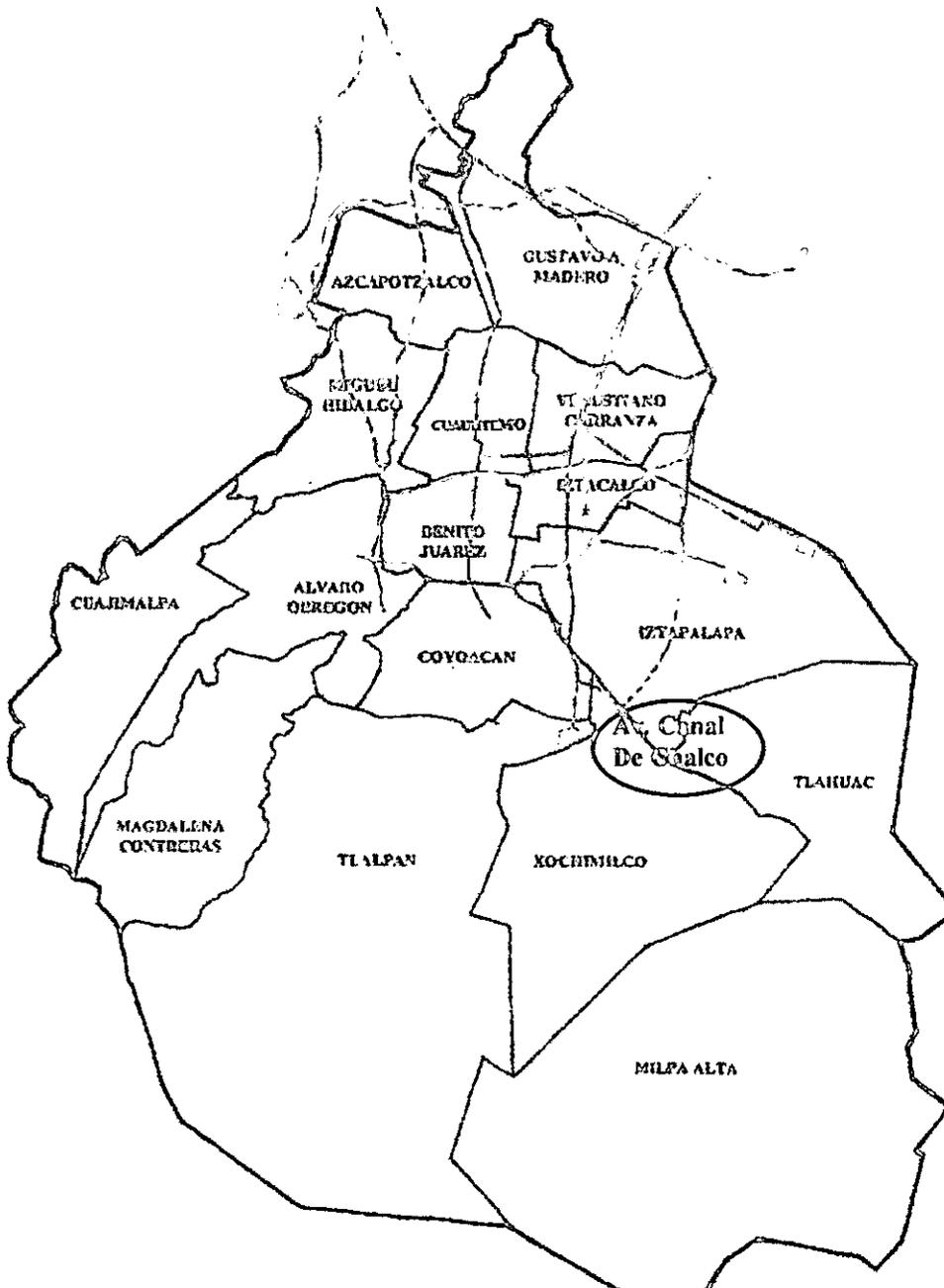
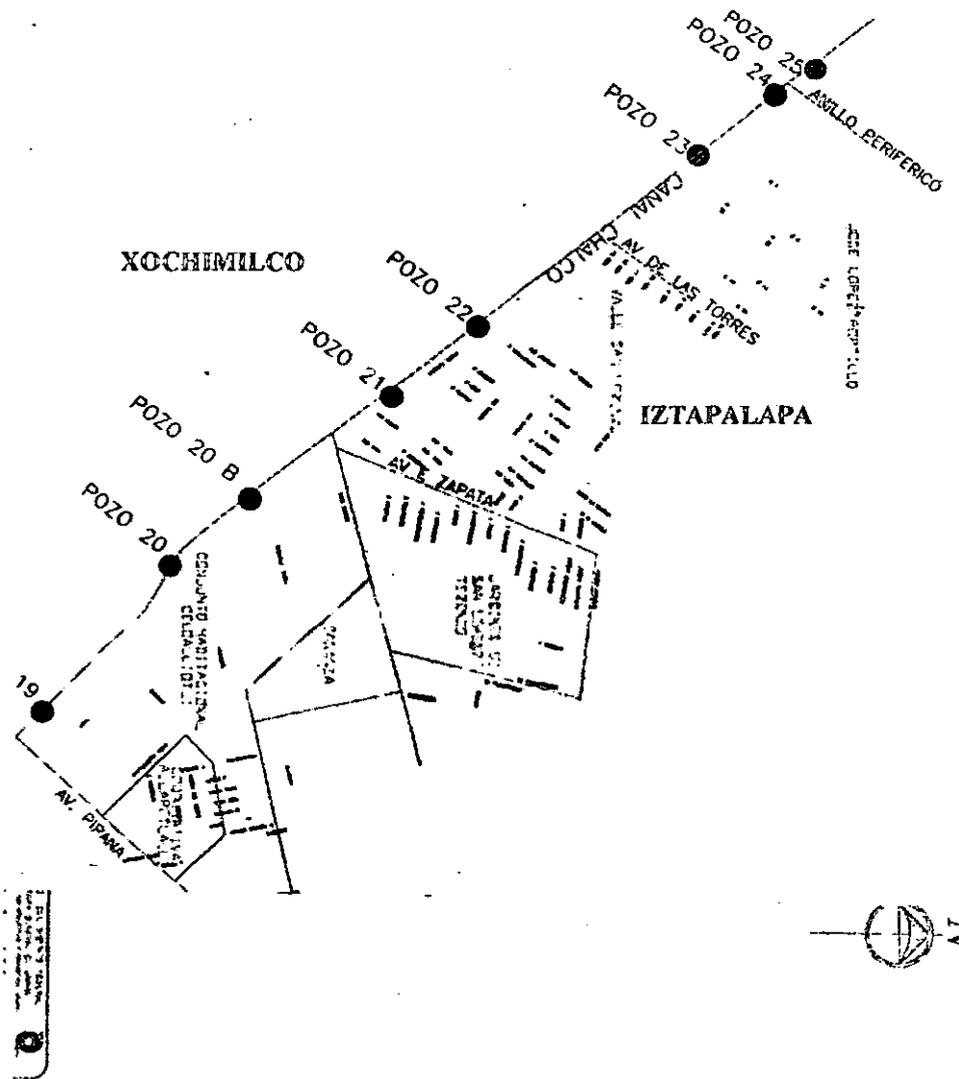


Figura i - 2. Ubicación de los pozos del ramal sobre la avenida Canal de Chalco.



OBJETIVO GENERAL: Establecer parámetros de diseño y las condiciones óptimas de operación de un tren de tratamiento que permita remover el manganeso oxidado del agua proveniente de los pozos del ramal “Ampliación Tláhuac – Neza” de la Ciudad de México utilizada para el consumo humano.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- El efluente tratado debe satisfacer las necesidades de los consumidores, así mismo, cumplir con la norma NOM 127-SSA1-1994 expedida por la Secretaría de salud.

- Evaluar la eficiencia del proceso de oxidación con cloro y filtración en arena – antracita para la remoción del manganeso presente en el agua de los pozos en estudio.

- Establecer parámetros operacionales del tren de tratamiento y del retrolavado de los filtros.

HIPOTESIS.- La remoción del manganeso del agua extraída de los pozos del ramal, puede darse mediante la oxidación con hipoclorito de sodio seguida de filtración en lecho dual de arena – antracita.

CAPÍTULO 1
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Revisión de normas nacionales e internacionales que regulan la concentración de minerales en el agua potable.

En este capítulo se analizarán las normas existentes tanto nacionales como internacionales que sancionan la calidad del agua potable.

Toda agua para consumo humano no debe contener microorganismos patógenos ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud. Por tanto, el agua debe cumplir con ciertas normas bacteriológicas y fisicoquímicas para que pueda ser considerada potable.

Desde el punto de vista bacteriológico, se ha establecido que no debe mostrar la presencia de E. Coli. Esta regla no tiene en cuenta los virus entéricos ni los protozoarios que pueden existir en el agua y que son potencialmente peligrosos. La dificultad que representa el aislarlos y detectarlos hace que hasta ahora, en el control rutinario de las plantas de tratamiento no se hagan pruebas para constatar su presencia. Organismos internacionales como la Comunidad Económica Europea, la Agencia para la protección al Ambiente (EPA) de los Estados Unidos y la organización Mundial de la Salud han clasificado las sustancias que un agua puede contener en tres grupos:

- 1 Bacteriológicos
- 2 Sustancias tóxicas
- 3 Sustancias que pueden producir determinadas enfermedades o aspectos poco atractivos para el consumo humano.

En la tabla 1 se presentan los patrones fisicoquímicos y bacteriológicos de potabilidad dados por la OMS, la Comunidad Económica Europea, los Estados Unidos (EPA) y la Norma Oficial Mexicana de los Estados Unidos Mexicanos NOM 127-SSA1-1994

Tabla 1.1. Límites permisibles de concentración de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológico del agua potable emitidos por varios organismos internacionales, OMS, CEE, EPA y NOM 127-SSA1-1994.

Parámetro	OMS Valor guía	CEE Valor guía	EPA, (USA)	NOM127- SSA1-1994	Produce efectos como:
Turbiedad. [UNT]	< 1.0	0- 1	0.5 - 1.5	5	Interfiere con la desinfección
Color, [Ú Pt/Co]	15	1	5	20	Con el cloro crea Trihalometanos
Olor	0	0	Inofensivo	Agradable	Molesta al consumidor
Sabor	0	0	Inofensivo	Agradable	Molesta al consumidor
Aluminio. [mg/l]	0.2	0.05	0.1	0.20	Interfiere la diálisis de pacientes de riñón
Arsénico. [mg/l]	0.05	0.05	0.05	0.05	Cáncer en la piel y afecta los nervios
Cadmio, [mg/l]	0.005	0.005	0.005	0.005	Se concentra en el hígado, riñones y páncreas
Cromo, [mg/l]	0.05	0.005	0.1	0.05	Efectos en el hígado y los riñones
Cloro residual libre				0.2 - 1.50	Produce mal sabor
Cloruros (como Cl ⁻), [mg/l]	250	200	250	250	Afecta la digestión y produce mal sabor
Cianuro	0.1	0.050	0.20	0.07	Efectos en el baso, hígado y riñones.
Fluoruros, [mg/l]	1.50	0.70 - 1.50	2.0	1.50	Daño de los dientes y los huesos
Mercurio, [mg/l]	0.001		0.002	0.001	Daña el sistema nervioso
Hierro, [mg/l]	0.30	0.050	0.30	0.30	Agua de color rojizo
Manganeso, [mg/l]	0.10	0.020	0.050	0.150	Agua de color café a rojizo
*Magnesio, [mg/l]	-	30	-	*125	Puede contribuir a enfermedades cardiacas.
Nitrógeno amoniacal, [mg/l]				0.5	Forma nitratos.
Selenio, [mg/l]	0.01	-	0.05		Ataca sistema nervioso
Sulfatos (como SO ₄ ²⁻), [mg/l]	400	25	250	400	Daños estomacales
Plomo, [mg/l]	0.05	0.05	< 0.05	0.025	Daña sistema nervioso y riñones, tóxico para niños
Cobre, [mg/l]	1.0	0.1	< 1.0	2	Daña sistema nervioso, tóxico para niños.
Sodio, [mg/l]	200	20	-	200	Afecta la presión sanguínea
Zinc, [mg/l]	5.0	0.1	5.0	5.0	
Sólidos disueltos totales, [mg/l]			500	1000	Indicador de iones solubles
Dureza total (como CaCO ₃), [mg/l]				500	
Dieldrin / Aldrin, [mg/l]	0.0003	0.001		0.03	Afecta hígado y nervios
Endrin, [mg/l]	0.01		0.05		Ataca sistema nervios
Glifosato, [mg/l]		0.001	0.7		Afecta hígado y riñones
Tetracloruro de carbono, [mg/l]	0.003		0.005		Riesgo de cáncer

Trihalometanos. [mg/l]	0.025 – 0.25	0.001	0.1	0.20	Riesgo de cáncer
Coliformes totales. [NMP /100ml]	3	-	1	2	
Coliformes Fecales, [NMP/100ml]	0	0	0	0	Enfermedades gastrointestinales.
Cianuros (como CN ⁻). mg/l				0.07	
Nitratos (como N)				10	
pH			6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	

* criterio establecido por la D. G. C. O. H.

Puede observarse de la tabla 1.1 que en general los límites máximos permisibles de los parámetros difieren por cada organismo que emite dichos valores y sólo coinciden en muy pocos que pueden ser considerados de mayor influencia en la calidad del agua como es el caso del arsénico, fluoruros, mercurio, hierro, coliformes fecales y totales. Un parámetro que cambia de valor dependiendo del organismo de que se trate es el manganeso, ya que para la OMS es de 0.10, para la CEE es de 0.020, para la EPA- USA es de 0.05, para la NOM127 es de 0.15.

En la práctica se ha observado que aunque se alcanza el valor de 0.15 mg/l en la concentración de Mn, aún siguen presentado ciertos índices de coloración, y cuando se alcanzan valores de 0.10, el agua presenta un color aceptable o atractivo para el consumidor.

1.2 Evaluación de la calidad del agua del ramal de pozos Ampliación Tlahuac – Neza.

A continuación se analizará el comportamiento de la calidad del agua de los pozos de este ramal a través del tiempo de operación, cabe mencionar que el pozo número 19 del ramal se encuentra fuera de operación.

1.2.1 Recopilación y procesamiento de datos históricos del monitoreo de los pozos.

Esta sección tiene como propósito integrar toda la información existente respecto a la calidad del agua de los pozos a partir del año de su apertura.

La forma como se encuentra integrada la información es a través de datos puntuales de cada año para cada parámetro, indicando el valor promedio y los valores máximos y mínimos. Debido a que la información proporcionada por DGCOH es extensa, se incluye en el anexo A, al final del documento.

1.2.2 Balance de materia del agua de los pozos.

El agua del ramal será tratada como una mezcla de todos los pozos seleccionados, por lo que es necesario conocer la concentración de los parámetros del agua como mezcla, esto se logra mediante un balance de materia, para lo cual se consideraron los valores más altos de cada parámetro reportados en los históricos de calidad; en promedio, los históricos corresponden al periodo 1985 hasta 1996, los datos se presentan en la tabla 1.2. Los resultados del balance se presentan en la tabla 1.3.

Tabla 1.2. Valores máximos de cada parámetro para cada pozo en estudio.

		Pozo No.	19	20	20- BIS	21	22	23	24	25
		Gasto [Q _i]	60 lps	20lps	62 lps	77 lps	72 lps	35 lps	39 lps	61 lps
PARAMETRO	Unidad	Norma	Concentración							
Color	U Pt/Co	20	20	20	17.5	17.5	25	15	25	25
*Cond. Eléc.	Usiemens/cm	1500	490	560	604	1074	1099	770	1050	1086
PH		6.5-8.5	7.9	8.2	8.9	8.2	8.1	7.8	7.8	8
Sól. Tot.	mg/l	1000	396	424	408	640	700	592	700	708
*Alcalinidad	mg/l	400	250	226	225	380	399	315	450	398
Cloruros	mg/l	250	35	45	48	109	125	86	122	120
Dureza tot.	mg/l	500	156	184	187	326	342	260	344	312
Fluoruros	mg/l	1.5	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
N- NH ₃	mg/l	0.5	0.9	0.6	0.52	0.5	0.1	0.1	0.2	0.2
Sulfatos	mg/l	400	2.6	9	14	14	22.6	21.9	20.8	37.6
As.	mg/l	0.05	9E-04	0.004	0.001	0.007	0.005	0.009	8E-04	0.02
Cd.	mg/l	0.005	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.01
Ca.	mg/l	*30	31	30	29	45	46	36	48	48
Zn.	mg/l	5	0.01	0.193	0.102	0.039	0.021	0.31	0.013	0.64
Cu.	mg/l	2	0.009	0.012	0.058	0.01	0.024	0.08	0.009	0.02
Cr.	mg/l	0.05	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.04
Fe.	mg/l	0.3	0.45	0.32	0.49	0.37	0.23	0.22	0.24	0.27
Mn.	mg/l	0.15	0.3	0.32	0.345	0.73	0.78	1.08	0.87	1.01
Hg.	mg/l	0.001	7E-04	2E-04	2E-04	6E-04	6E-04	5E-04	2E-04	0
Pb.	mg/l	0.025	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Na.	mg/l	200	51	53	54	110	113	88	116	126
Mg.	mg/l	*125	24	27	27	51	57	41	53	48
Col. Totales	NMP/100 ml	2	0	100	26	2	2	0	0	10
Col. Fecales	NMP/100 ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*los valores de estos parámetros son establecidos como criterios por la D.G.C.O.H.

El balance de materia se llevó a cabo aplicando la siguiente ecuación:

$$**C_{Tla-Neza} = [C_i \times Q_i] / \Sigma Q_i$$

Donde:

**C_{Tla-Neza} = Concentración promedio en la mezcla.

i = número del pozo.

C = concentración del parámetro correspondiente.

Q_i = gasto de agua en el pozo i.

$$\Sigma Q_i = Q_{19} + Q_{20} + Q_{20BIS} + Q_{21} + Q_{22} + Q_{23} + Q_{24} + Q_{25} = 426 \text{ lps.}$$

Tabla 1.3. Balance de materia del agua del ramal "AMPLIACION TLAHUAC - NEZA".

Parámetro	Unidad	POZO	19	20	20-BIS	21	22	23	24	25	**C _{Tla-Neza}
		NORMA	C ₁₉ Q ₁₉	C ₂₀ Q ₂₀	C _{20B} Q _{20B}	C ₂₁ Q ₂₁	C ₂₂ Q ₂₂	C ₂₃ Q ₂₃	C ₂₄ Q ₂₄	C ₂₅ Q ₂₅	
Color	U Pt/Co	20	1200	400	1085	1347.5	1800	525	975	1525	20.8
*Cond. Eléc.	Usiemens/cm	1500	29400	11200	37448	82698	79128	26950	40950	66246	877.98
pH		6.5-8.5	462	158	483.6	600.6	540	269.5	300.3	469.7	7.7
Sól. dis. tot	mg/l	1000	23760	8480	25296	49280	50400	20720	27300	43188	583.15
*Alcalinidad	mg/l	400	13560	4220	13454	21560	25200	9730	13845	21411	288
Cloruros	mg/l	250	2100	900	2976	8393	9000	3010	4758	7320	90.27
Dureza tot.	mg/l	500	9360	3680	11594	25102	24624	9100	13416	19032	272.1
Fluoruros	mg/l	1.5	12	6	18.6	23.1	21.6	10.5	11.7	24.4	0.300
N- NH ₃	mg/l	0.5	54	12	32.24	38.5	7.2	3.5	7.8	12.2	0.393
Sulfatos	mg/l	400	156	180	868	1078	1627.2	766.5	811.2	2293.6	18.26
As.	mg/l	0.05	0.054	0.078	0.0744	0.5698	0.3672	0.3045	0.0312	1.342	0.0066
Cd.	mg/l	0.005	0.48	0.16	0.496	0.616	0.576	0.28	0.312	0.488	0.008
Ca.	mg/l	*30	1860	600	1798	3465	3312	1260	1872	2928	40.13
Zn.	mg/l	5	0.6	3.86	6.324	3.003	1.512	10.85	0.507	39.04	0.154
Cu.	mg/l	2	0.54	0.24	3.596	0.77	1.728	2.8	0.351	1.159	0.0263
Cr.	mg/l	0.05	0.48	0.16	0.496	0.616	0.576	0.28	0.312	2.318	0.0123
Fe.	mg/l	0.3	27	6.4	30.38	28.49	16.56	7.7	9.36	16.47	0.33
Mn.	mg/l	0.15	18	6.4	21.39	56.21	56.16	37.8	33.93	61.61	0.68
Hg.	mg/l	0.001	0.042	0.004	0.0124	0.0462	0.0432	0.0175	0.0078	0.0122	0.0004
Pb.	mg/l	0.025	3	1	3.1	3.85	3.6	1.75	1.95	3.05	<0.05
Na.	mg/l	200	3060	1060	3348	8470	8136	3080	4524	7686	92.40
Mg.	mg/l	*125	1440	540	1674	3927	4104	1435	2067	2928	42.52
Col. Tot	NMP/100	2	0	2000	1612	154	144	0	0	610	10.6
Col. Fec.	NMP/100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*Los valores de estos parámetros son criterios establecidos por la D.G.C.O.H.,

**Concentración promedio en la mezcla

1.2.3 Identificación de los componentes que exceden la normatividad vigente.

Con la información disponible hasta el momento, se ha preparado la tabla 1.4 que proporciona los resultados de la evaluación de los parámetros más importantes con base en el balance de materia efectuado en el subtema 1.2.2.

Tabla 1.4 Identificación de parámetros fuera de norma.

Parámetro	unidad	Valor	Norma o Criterio de Calidad	Excede la Norma
Color	U Pt/Co	20.8	20	Sí
Conductividad	Usiemensm/cm	878	1500	No
pH		7.7	6.5-8.5	No
Sólidos Totales.	mg/l	583.15	1000	No
*Alcalinidad total	mg/l(CaCO ₃)	288	400	No
Cloruros	mg/l	90.27	250	No
Dureza total	mg/l(CaCO ₃)	272.1	500	No
Fluor	mg/l	0.30	1.5	No
Nitrógeno amoniacal (N)	mg/l	0.39	0.5	No
Sulfatos	mg/l	18.26	400	No
Arsénico	mg/l	0.0066	0.05	No
Zinc.	mg/l	0.1542	5	No
Cobre	mg/l	0.026	2	No
Cromo total	mg/l	0.012	0.05	No
Fierro	mg/l	0.30	0.3	No
Manganeso	mg/l	0.68	0.15	Sí
Mercurio	mg/l	0.0004	0.001	No
Sodio	mg/l	92.4	200	No
Magnesio	mg/l	42.5	120	No
Coliformes Fecales	NMP/100ml	0	0	No
Coliformes Totales	NMP/100ml	10.6	2	Sí

NOTA: Puede observarse que de todos los parámetros, sólo tres se encuentran fuera de norma y de esos los coliformes totales y el color se se eliminan con la oxidación con hipoclorito.

1.3 Mezcladores estáticos.

El sistema de mezclado utilizado en esta experimentación es a base de mezcladores estáticos, debido a que fueron los que mejores resultados arrojaron en trabajos previos de mezclado. Por tal motivo, en esta sección se hace una descripción de éste y las ventajas que se obtienen al utilizarlo.

Un mezclador estático consiste básicamente en una serie de láminas guía estacionarias que da como resultado la mezcla sistemática y radial del flujo de los medios que circulan a través de la tubería. La trayectoria del flujo sigue así un patrón geométrico, evitando

cualquier mezcla aleatoria. La operación de mezcla se completa por consiguiente en una distancia de flujo muy corta. En contraste con los tanques agitadores o sistemas de tubería vacía, los mezcladores estáticos aseguran que la totalidad de las corrientes de fluido esté sujeta a una compulsiva o efectiva mezcla o contacto. Ver figura 1.1.



Figura 1.1 Elementos de un mezclador estático, tomado del boletín técnico de Sulzer Chemtech.

La energía requerida para la mezcla se toma de la propia corriente principal, que se manifiesta por una pequeña caída de presión. Este valor depende del diseño del mezclador y de las condiciones de operación relacionadas, y está generalmente entre 0.02 – 2 m. En comparación con los sistemas dinámicos, con agitador, el requerimiento de energía de los mezcladores estáticos es menor. Además, la energía se disipa uniformemente a través de todo el volumen del mezclador. En la figura 3.3 se observa la rapidez con la que se lleva a cabo el mezclado.



Figura 1.2 Mezcla homogénea y rápida de un mezclador estático, tomado de "Mezcladores estáticos de Sulzer Chemtech 1998"

CAPÍTULO 2
EL MANGANESO

CAPÍTULO 2

EL MANGANESO

2.1 Aspectos generales del manganeso.

El manganeso es el elemento número 25 en la tabla periódica, está clasificado como un elemento de transición y muestra algunas de las características químicas propias de ese grupo, tales como valencia múltiple. Sólo existe un isótopo de este elemento en la naturaleza el Mn^{55} .

El manganeso iónico o combinado puede aparecer con niveles de oxidación de +1 a +7 en ambientes naturales, sin embargo, algunos de esos estados de oxidación son poco estables, los más estables son el +2, +3, +4, y +6. Las especies del manganeso en el estado de oxidación +7 [permanganato, MnO_4^-] son comúnmente utilizados en el laboratorio, y las soluciones de permanganato tienen suficiente estabilidad para ser usados en titulaciones óxido-reducción.

Los principales minerales de manganeso son los óxidos e hidróxidos, tales como los minerales de pirolusita [MnO_2] y psilomelana [$BaMn^{+2}Mn^{+4}_8O_{16}(OH)_4$]. Mezclas de pirolusita con manganita [$MnO(OH)$], braunita [$(Mn,Si)_2O_3$], hausmanita [Mn_3O_4], y silomelana son comunes en ambientes superficiales.

El manganeso es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre. Las concentraciones de manganeso disuelto en las aguas subterráneas y superficiales pobres en oxígeno pueden alcanzar varios miligramos por litro. En presencia de oxígeno, el manganeso forma óxidos insolubles que pueden provocar la aparición de depósitos no deseables y causar problemas de color en los sistemas de distribución. La ingesta diaria de manganeso procedente de los alimentos es de 2 a 9 mg para los adultos.

El manganeso es un elemento indispensable del que, según las estimaciones, se necesitan diariamente de 30 a 50 $\mu g/kg$ de peso corporal. Su tasa de absorción puede variar considerablemente según la ingesta efectiva, la forma química y la presencia de otros metales, como el hierro y el cobre en el régimen de alimentación. En los lactantes y los

animales jóvenes se han detectado tasas de absorción muy altas [Guías para la calidad del agua potable, OMS 1995].

La ingesta de manganeso puede llegar a 20 mg diarios sin efectos perjudiciales aparentes. Con una ingesta de 12 mg diarios, un adulto que pesa 60 kg recibirá 0.2 mg diarios / kg de peso corporal. Si se asigna el 20% de la ingesta al agua potable y se aplica un factor de incertidumbre de 3 para tener en cuenta el posible aumento de la biodisponibilidad de manganeso procedente del agua, se obtiene un valor de 0.4 mg/litro.

Aunque no existe ningún estudio que permita por sí sólo calcular un valor guía, el conjunto de los datos obtenidos de la ingesta diaria efectiva y de estudios realizados con animales de laboratorio a los que se administró manganeso en agua, con la consiguiente aparición de efectos neurotóxicos y otros tóxicos, por lo tanto en base a lo anterior se propone que un valor guía provisional basado en criterios sanitarios de 0.5 mg/l debería ser suficiente para proteger la salud pública.

La Organización Mundial de la Salud manifiesta que concentraciones superiores a 0.1 mg/l, el manganeso contenido en el agua daña las instalaciones de fontanería, mancha la ropa y da a las bebidas un sabor desagradable. Al igual que el hierro, la presencia del manganeso en el agua potable puede hacer que se acumulen depósitos en el sistema de distribución perjudicando la infraestructura. Sin embargo La NOM 127-SSA1-1994 es más laxa y, establece como límite máximo 0.15 mg/l para uso público urbano, el cual está por arriba del que sugiere la OMS y la EPA-USA.

2.2 Química del manganeso

El manganeso presenta ocho estados de oxidación:

(0): Mn	(IV): MnO _{2(s)}
(II): Mn ⁺²	(V): MnO ₄ ⁻³
(8/3): Mn ₃ O _{4(s)}	(VI): MnO ₄ ²⁻
(III): Mn ₂ O _{3(s)}	(VII): MnO ₄ ⁻

La totalidad de estos compuestos no son relevantes en el tratamiento del agua (O' Connor 1971), los que interesan desde el punto de vista de tratamiento son los de el estado de oxidación de (II), (III), (IV) y (VII). El manganeso acuoso es el de valencia Mn(II), ocupa gran parte del régimen de pE -pH asociado con las aguas naturales, esto se puede apreciar en la figura 2.1.

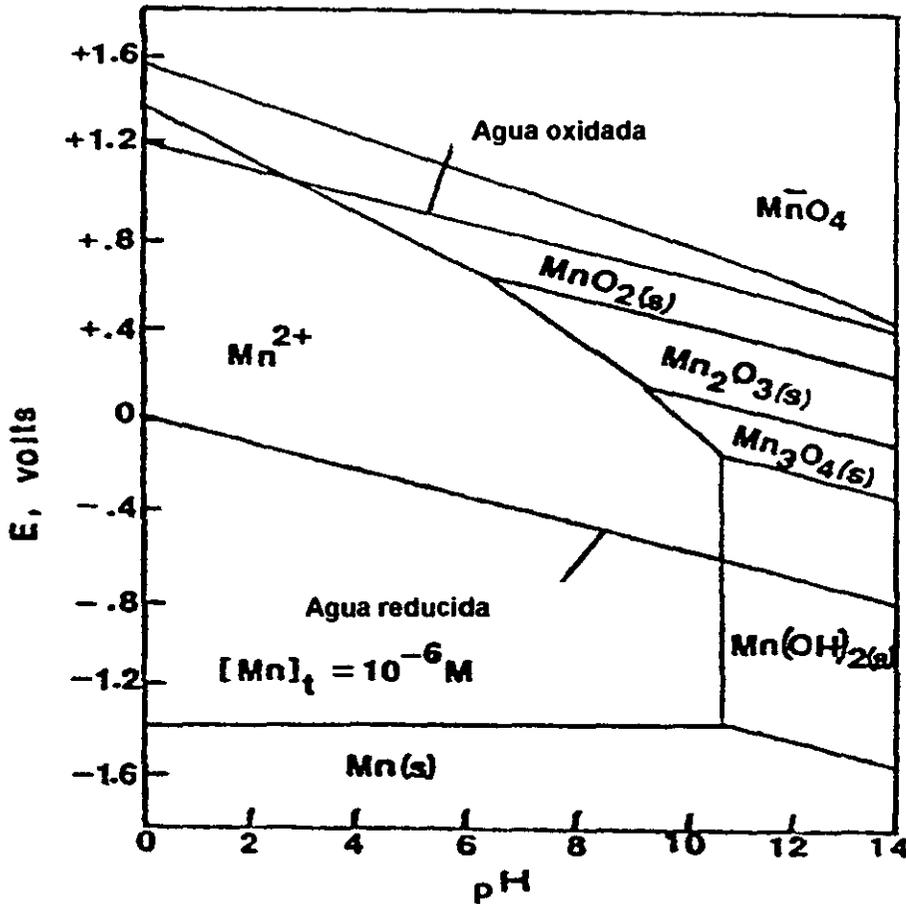
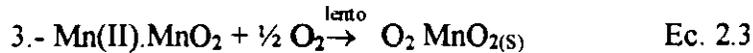
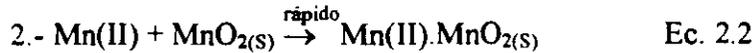
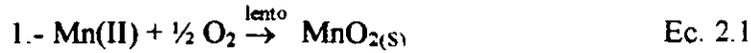


Figura 2.1 Diagrama de estabilidad pE - pH para varias especies de manganeso en el agua a 25°C. [De Pourbaix 1966]

2.2.1 Reacciones del manganeso Mn(II) con oxígeno.

La siguiente serie de reacciones han sido sugerida por Morgan (1964) para describir la oxidación del Mn(II) utilizando oxígeno.



De los trabajos realizados por Stumm & Morgan 1981, muestran que la extensa remoción del Mn(II) observada en soluciones que contienen $\text{O}_{2(\text{aq})}$, no sigue la estequiometría de la ecuación 1, 2 y 3 indicando una reacción autocatalítica. En soluciones ligeramente alcalinas, Cantidades significativas de Mn(II) fueron adsorbidas sobre óxidos de Mn superiores. Ya que la fase sólida desde la oxidación puede tener un rango desde $\text{MnO}_{1.3(\text{s})}$ a $\text{MnO}_{1.9(\text{s})}$, la oxidación a $\text{MnO}_{2(\text{s})}$ a menudo no se completa. (Faust and Aly, 1983).

Morgan además determinó que la tasa de oxidación de Mn(II) por $\text{O}_{2(\text{aq})}$ tiene una dependencia secundaria de la concentración de iones hidróxido, con tasas de reacción lentas observadas para valores de pH entre 9.0 – 9.3.

2.2.2 Reacción del manganeso (II) con el dióxido de cloro.

La aplicación del dióxido de cloro (ClO_2) puede beneficiar la utilidad del agua debido a sus propiedades desinfectantes y para el control de olores y sabores. Es agente oxidante de los THMs (trihalometanos), y remueve el manganeso soluble (Aieta and Berg 1986, Carlson 1988, Viessman y Hammer 1985). La química del ClO_2 en el agua es algo más complicada que la del hipoclorito (HOCl) y permanganato de potasio (KMnO_4). En la mayoría de las plantas de tratamiento de agua, las condiciones son tales que el ClO_2 se reduce a ClO_2^- , y la reducción completa a cloro (Cl^-) no ocurre. En lo concerniente a las implicaciones de salud, la presencia del dióxido de cloro (ClO_2), el clorito (ClO_2^-) y el clorato (ClO_3^-) en el agua para beber puede limitar la aplicación del ClO_2 y esto puede impedir encontrar la demanda requerida de oxidante.

2.2.3 Reacción del manganeso (II) con el ozono.

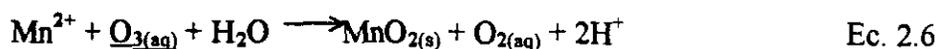
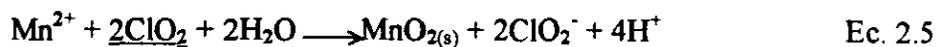
El ozono ha sido utilizado en Europa eficazmente para oxidar manganeso soluble y está ganando más atención en Estados Unidos. Es un oxidante extremadamente fuerte, es usado además como desinfectante y control de algas (Carlson 1988). Para la remoción de manganeso por filtración con arena en presencia de orgánicos; se ha observado que la dosis requerida de ozono se incrementa para obtener una efectiva remoción de manganeso con concentraciones grandes de residual de carbono orgánico total. (Legube y colaboradores, 1988). La presencia de sustancias húmicas disminuye la eficiencia del ozono en la oxidación con el manganeso. La mayor limitante en su uso es la falta de un residual después de la aplicación y los costos asociados con la generación de ozono (Viessman & Hammer, 1985).

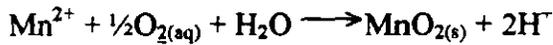
2.2.4 Reacción del manganeso (II) con permanganato de potasio.

Aunque más costoso que el cloro, el permanganato de potasio ha sido usado convencionalmente en sistemas por gravedad para reducción de Mn(II), sabores y olores. Lo que ayuda a disminuir los costos químicos es el uso frecuente del permanganato en combinación con el cloro. A diferencia del cloro, las reacciones del KMnO_4 con Mn(II) son rápidas y completas a $\text{pH} = 5.5 - 9.0$ (Knocke et al. 1987, Wong 1984), aún cuando el incremento del carbón orgánico requiere dosis mayores de KMnO_4 para lograr la oxidación del Mn(II). Knocke *et al.* 1987, reportó que se da una disminución sustancial en la eficiencia de oxidación del Mn(II) a bajas temperaturas (5°C). El KMnO_4 también se utiliza en muchos sistemas de filtros a presión en conjunto con el tratamiento del manganeso con arena verde.

Las ecuaciones estequiométricas que se llevan a cabo en la oxidación del manganeso con los agentes oxidantes antes descritos, así como las cantidades teóricas para oxidar 1 mg/l de Mn(II) se presentan a continuación:

Reacciones:





Ec.2.7

2.2.5 Reacción del manganeso (II) con hipoclorito.

Recientemente, se han desarrollado nuevas estrategias para la remoción de manganeso soluble. Se ha observado que la oxidación del manganeso es severamente inhibida a bajas temperaturas y condiciones de pH ácidas. Otro trabajo reciente mostró la importancia del dióxido de manganeso recubriendo el medio filtrante como un mecanismo eficiente para remoción de Mn(II) (Knocke et al. 1988) y la necesidad de una reacción autocatalítica sobre el medio de arena o antracita recubierto con óxido de manganeso durante la filtración (Weng et al. 1986).

Cantidades teóricas:

Oxidante	Cantidad teórica
$\text{O}_{2(\text{aq})}$	0.29mg O_2 /mgMn
KMnO_4	1.92 mg KMnO_4 /mgMn
ClO_2	2.45 mg ClO_2 /mgMn
O_3	0.88mg O_3 /mgMn.
NaOCl	1.355 mg NaOCl /mgMn.

2.2.6 Análisis estequiométrico del manganeso.

La solubilidad del manganeso depende del pH y la alcalinidad (contenido de bicarbonatos) del agua; las relaciones estequiométricas que gobiernan la solubilidad del manganeso son las siguientes:

Debido a que el ácido carbónico tiene más de un hidrógeno reactivo, la ionización se lleva a cabo en etapas, con una constante de ionización del ácido aplicable en cada paso. La primera reacción del ácido carbónico es:



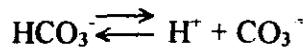
La expresión de equilibrio es:

$$\frac{(\text{H}^+)(\text{HCO}_3^-)}{(\text{H}_2\text{CO}_3)} = k_1$$

$$k_1 = 4.45 \times 10^{-7} \text{ moles/l,}$$

$$pk_1 = -\log k_1 = 6.35$$

La segunda etapa es:



Y su expresión de equilibrio es:

$$(\text{H}^+) (\text{CO}_3^{2-}) / (\text{HCO}_3^-) = k_2$$

$$k_2 = 4.69 \times 10^{-11} \text{ mol/l} \quad \text{pk}_2 = -\log k_2 = 10.33$$

Donde:

k_1 y k_2 son constantes de disociación para ácido carbónico en solución acuosa a 25°C.

Las constantes de solubilidad k_s para los productos iónicos del manganeso [carbonato de manganeso e hidróxido de manganeso] son las siguientes:

$$\begin{array}{lll} [\text{Mn}^{2+}][\text{OH}^-]^2 = k_{s1} & \text{pk}_{s1} = -\log k_{s1} = 12.8 & k_{s1} = 1.58 \times 10^{-13} \text{ mol/l} \\ [\text{Mn}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = k_{s2} & \text{pk}_s = -\log k_s = 10.06 & k_{s2} = 8.71 \times 10^{-11} \text{ mol/l} \end{array}$$

Al dividir k_{s2} / k_2 obtenemos la siguiente expresión

$$k_{s2} / k_2 = [\text{Mn}^{2+}][\text{HCO}_3^-] / [\text{H}^+] \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$[\text{Mn}^{2+}] = \{(k_{s2} / k_2) [\text{H}^+]\} / [\text{HCO}_3^-] \quad \text{Ec. 2.9}$$

La alcalinidad del agua está expresada como la capacidad para reaccionar con iones hidrógeno a un pH correspondiente a la formación estequiométrica del ácido carbónico (pH= 4.3 – 8.5) y es aproximadamente igual a la alcalinidad total (T), por lo tanto:

$$[\text{HCO}_3^-] = \{T - (k_w / [\text{H}^+]) + [\text{H}^+]\} / \{1 + 2k_2 / [\text{H}^+]\} \quad \text{Ec.2.10}$$

Sustituyendo la ecuación 2.10 en la ecuación 2.9, la concentración del manganeso está definida a $4.3 < \text{pH} < 8.5$ por:

$$[\text{Mn}^{2+}] = \{(k_{s2} / k_2) [\text{H}^+]\} * \{1 + 2k_2 / [\text{H}^+]\} / \{T - (k_w / [\text{H}^+]) + [\text{H}^+]\} \quad \text{Ec. 2.11}$$

Para el caso del agua del ramal de pozos ampliación Tlahuac – Neza, se tienen los siguientes datos analíticos:

A 25°C.

pH = 7.7, de la mezcla, tabla 1.3

$$[H^+] = 10^{pH} = 10^{-7.7} = 1.995 \cdot 10^{-8} \text{ moles/l}$$

$$T = 288.0 \text{ mg/l CaCO}_3$$

$$\text{Equivalentes / l} = 5.76 \times 10^{-3}$$

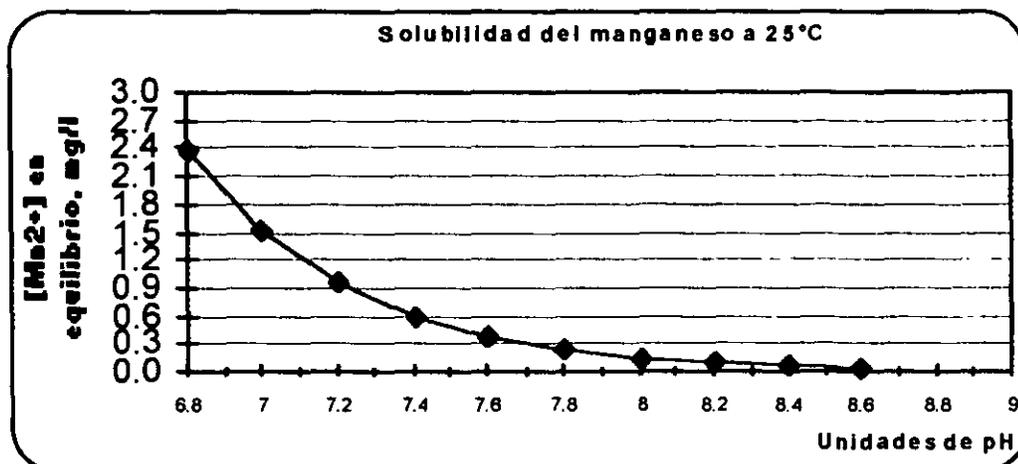
En la tablas 2.1 así como la figuras 2.2 se muestran los resultados del cálculo para determinar la concentración teórica de manganeso soluble en el agua de pozo para diferentes valores de pH.

Tabla 2.1 Manganeso soluble en equilibrio

$P_{ks_2} = 10.06$ $k_{s_2} = 8.7096E-11$
 $P_{kw} = 14$ $K_w = 1.0000E-14$
 $p_{k_2} = 10.33$ $k_2 = 4.6774E-11$
 Alcalinidad 288.0mg/lCaCO₃ Equiv/l = 0.00576
 PM [Mn] = 54.938 g/mol

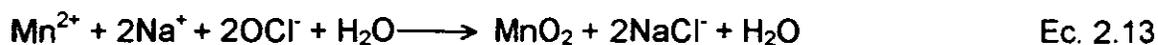
pH	[H ⁺] moles/l	[Mn ²⁺] moles/l	[Mn ²⁺] mg/l
5.8	1.59E-06	5.11E-04	28.07
6	1.00E-06	3.22E-04	17.71
6.2	6.31E-07	2.03E-04	11.18
6.4	3.98E-07	1.28E-04	7.05
6.6	2.51E-07	8.10E-05	4.45
6.8	1.58E-07	5.10E-05	2.80
7	1.00E-07	3.23E-05	1.77
7.2	6.30E-08	2.03E-05	1.12
7.4	3.98E-08	1.29E-05	0.71
7.6	2.51E-08	8.12E-06	0.45
7.8	1.59E-08	5.14E-06	0.28
8	1.00E-08	3.25E-06	0.18
8.2	6.31E-09	2.07E-06	0.11
8.4	3.98E-09	1.31E-06	0.07
8.6	2.51E-09	8.40E-07	0.05

Figura 2.2 Curva de solubilidad del manganeso en función del pH.



Puede verse de éste análisis que la concentración total calculada en la mezcla del agua de los pozos es de 0.68mg/l (ver tabla 1.3) mientras que la concentración teórica en equilibrio influenciada por la alcalinidad es de 0.45mg/l, esto significa que del total del manganeso presente en el agua el 66% se encuentra de manera soluble y que puede reaccionar con el agente oxidante, mientras que el otro 34% se encuentra oxidado y será removido por filtración.

La oxidación del Mn²⁺ a MnO₂ es posible en presencia de una fuerte dosis de cloro de acuerdo a la siguiente reacción química:



Peso molecular de Mn = 54.94 gr/mol

Peso molecular del MnO₂ = 86.94 gr/mol

Peso molecular del NaOCl = 74.44 gr/mol

El factor estequiométrico para calcular la cantidad de NaOCl para la oxidación de Mn²⁺ es:

$$\text{Factor} = 74.44 / 54.94 = 1.355$$

Estequiométricamente tenemos que se requiere 1.355 partes de NaOCl para oxidar una parte de Mn²⁺, pero la dosis de cloro requerida para la remoción de Mn²⁺ varía de acuerdo a la calidad del agua a ser tratada, la bibliografía especializada [J. Donald Johnson, 1977; Chapter 4] recomienda que la dosis de cloro deberá ser aquella que permita mantener un

promedio residual de cloro libre de 4 mg/l en el efluente del proceso, para un rango de pH que va de 7.6 hasta 7.9; por lo tanto la dosis a ser usada en los estudios para mejorar la calidad de agua del ramal de pozos Tláhuac – Neza está definida por la cantidad de cloro necesario para mantener un residual de 4 mg/l más la demanda química de cloro, así:

$$\text{Dosis de cloro [mg/l]} = \text{Demanda química, [mg/l]} + \text{Cloro residual libre, [mg/l]}$$

Teóricamente la cantidad estequiométrica requerida de cloro es:

$$0.68 \text{ mg/l [Mn}^{2+}] \times 1.355 \text{ mg NaOCl : mg Mn} = 0.9214 \text{ mg/l}$$

$$\text{Dosis teórica mínima de cloro, mg/l} = 0.92 + 4 = 4.92 \text{ mg/l}$$

Debido a que el cloro reacciona con el agua de acuerdo a:



Una molécula de Cl_2 es equivalente a una molécula de HOCl y a su vez es equivalente a una molécula de NaOCl, por lo tanto el factor de conversión de mg de Cl_2 a mg de NaOCl es: $74.5 / 71 = 1.05$

Dosis mínima de hipoclorito de sodio, mg/l = $4.92 \times 1.05 = 5.17 \text{ mg/l de NaOCl}$.

2.3 Alternativas de remoción del manganeso.

Hasta ahora se han mencionado las propiedades más sobresalientes respecto al manganeso, esto es, su importancia en la naturaleza, efectos causados por el exceso en el agua, su oxidación con diferentes agentes oxidantes. A continuación se van a presentar los diferentes métodos de remoción con los cuales se tendrán bases bases para fundamentar el método experimental.

2.3.1 Técnica de remoción de Manganeso Mn(II) por arena verde de manganeso.

La arena verde de manganeso es una zeolita mineral procesada con sulfato manganeso y permanganato de potasio en etapas alternadas produciendo un precipitado de gránulos de dióxido de manganeso (Wilmanrth, 1968). Los óxidos de manganeso depositados en el medio filtrante tienen una alta capacidad de sorción para el Mn(II) (O'Connor 1971). La sorción del Mn(II) sobre $\text{MnO}_{2(s)}$ ha mostrado ser dependiente del pH, ésta se da a pH = 6.8. La arena verde cubierta con $\text{MnO}_{2(s)}$ es capaz de intercambiar electrones y en consecuencia

la oxidación del Mn(II) adsorbido pasa a un estado filtrable (Wong, 1984). En esencia, la arena verde actúa como un adsorbedor de manganeso soluble, como un medio de contacto para oxidación y como un medio filtrante (Faust and Aly, 1983). Los inconvenientes a esta técnica para remover Mn(II) son la capacidad limitada de oxidación de la arena verde y el hecho de que el medio una vez agotado debe regenerarse con permanganato de potasio (KMnO₄). Debido a las dificultades que representa hacer la regeneración y al elevado costo del reactivo, ésta técnica no ha sido ampliamente aplicada.

2.3.2 Secuestro o estabilización de iones de manganeso.

Una alternativa para inhibir la presencia del manganeso en el agua es mediante el uso de secuestrantes como los polifosfatos, el método puede llevarse a cabo rápida y económicamente para controlar el manganeso soluble [Montgomery Engineers, 1985]. El agente químico que más ampliamente se ha usado para éste propósito es el hexametáfosfato de sodio (NaPO₃)₆ dosificado antes que el agua entre en contacto con el oxígeno atmosférico u otro agente oxidante, el propósito de agregar éste agente secuestrante es mantener el Fe y el Mn en forma soluble, manteniendo las condiciones estéticas (color principalmente) del agua aceptables, el método de uso de secuestrantes puede considerarse cuando el agua contiene de 0.3 a 1.0 mg/l de Fe y / o 0.05 a 0.1 mg/l de Mn, para el caso particular del ramal de pozos en estudio no aplica, ya que la concentración promedio del manganeso es de 0.68 mg/l, por lo tanto éste método no es el adecuado. [O' ConnorS, 1971].

Ronk & Robinson en 1987, reportaron el uso de silicato de sodio y cloro como secuestrante de manganeso. Mientras el uso de tales técnicas eran eficientes para secuestrar el fierro [Robinson et al. 1987]. Los resultados obtenidos cuando se trata en soluciones con manganeso no eran favorables.

Actualmente en ciertos casos, la mala aplicación de estos químicos provoca situaciones poco favorables, ya que su adición realmente produce peores situaciones que si no se aplicaran. En la bibliografía especializada se recomienda el uso de oxidantes fuertes para un aumento considerable en el rendimiento de los silicatos para secuestrar manganeso.

2.3.3 Intercambio iónico.

El proceso de intercambio iónico usa resinas de sodio para remover efectivamente las sales de manganeso, junto con otras sales como Ca^{+2} , Cu^{+2} , Co^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} . Las resinas de intercambio tienen que ser regeneradas periódicamente con cloruro de sodio o una solución de ácido sulfúrico. Una de las principales dificultades involucradas en el control del manganeso con este método es que si es oxidado por el oxígeno disuelto en el agua, el medio puede ser recubierto y ensuciado desfavoreciendo el intercambio. Por lo tanto es muy importante controlar los niveles de oxígeno disuelto en los lechos de intercambio iónico. Es posible regenerar la capacidad de intercambio disolviendo el precipitado de manganeso del lecho con ácido, sin embargo esto reduce la vida útil de la resina. El intercambio iónico se selecciona cuando la remoción de manganeso y de sólidos disueltos son necesarios.

2.3.4 Tratamiento con cal (ablandamiento)

La remoción del manganeso Mn(II) se lleva a cabo como un efecto secundario, debido a que el ablandamiento es el objetivo principal de este tratamiento. Para una efectiva remoción se requiere preaerear el agua, aumentar el pH arriba de 9.5 y que la alcalinidad existente sea mayor de 20mg/l como CaCO_3 . Este método es menos atractivo con respecto a otros procesos usados para la remoción de manganeso debido al alto costo.

2.3.5 Eliminación del manganeso por aeración (oxidación), sedimentación y filtración.

Este método es similar al empleado para la eliminación del hierro, y consiste en transformar la sal soluble en otra insoluble por medio de la oxidación. El bicarbonato manganoso, en agua fría, saturada con CO_2 , tiene una solubilidad de 191 mg/l, mientras que el agua libre de CO_2 tiene una solubilidad de 31 mg/l y el hidróxido manganoso 1 mg/l. Puesto que el precipitado oxidado tiene una solubilidad menor de 0.01 mg/l, se puede obtener una buena eliminación de manganeso por oxidación, asentamiento y filtración.

Se requiere de un pH más alto para la eliminación del manganeso que del hierro; para este último se obtiene una oxidación lenta pero medible a pH de 5 en un período de 15 minutos; para el manganeso es necesario un pH de 9 para poder apreciar la oxidación. A un pH de 7

o mayor se obtiene una buena eliminación de hierro; con el manganeso, si el agua no se agita, se necesita un pH de 10.3. El efecto del pH en la oxidación del ion manganeso, se muestra en el tabla 2.2, que son el resultado de la experimentación llevada a cabo por E. Gilbert. La relación teórica de Oxígeno y manganeso es: 1 mg/l de O₂: 7 mg/l de Mn²⁺.

Tabla 2.2 Efecto del pH en la oxidación del manganeso manganeso por aire disuelto sin agitar.

Agua cruda		Manganeso en el agua aerada y filtrada (mg/l)		
PH	Manganeso(mg/l)	(15 min)	(30 min)	(60 min)
8.5	10.0	--	--	10.0
9.0	10.0	--	--	9.0
9.3	10.0	8.5	8.0	7.5
9.5	10.0	7.5	5.0	3.2
9.7	10.0	3.0	1.30	0.9
9.95	10.0	0.9	0.7	0.6
10.3	10.0	< 0.02	< 0.02	< 0.02

2.3.6 Oxidación *in situ*.

La oxidación *in situ* involucra un proceso patentado llamado VYREDOX[®], desarrollado por Halberg & Martinell en 1976. En este proceso el oxígeno, mediante el uso de agua oxigenada, es inyectada alrededor de la fuente de suministro de agua. El fundamento de este concepto es que es incrementado el Eh en las cercanías de la descarga del pozo. Teóricamente, un ambiente más oxidativo cambiará el estado de oxidación de esos materiales y detiene la disolución del manganeso en el área del pozo. Con respecto a la operación de este tipo de procesos involucra el potencial de contaminación del sistema del acuífero, el excesivo crecimiento bacteriano en la zona del pozo y subsecuente atascamiento del acuífero. Adicionalmente incluye el impacto de corrosión de la tubería debido a la introducción de agua oxigenada en el acuífero. Puede observarse que este método es demasiado complicado por lo que su aplicación no se ha difundido ampliamente.

2.3.7 Remoción de Mn(II) por un medio filtrante recubierto de óxido.

A través de los años, la remoción de Mn(II) por el uso de cloro libre ha sido documentada por Edwards & McCall 1964; quienes reportaron un efecto catalítico de la arena recubierta de manganeso en los filtros responsables en parte de la remoción de Mn(II). Además, observaron que las dosis de cloro más allá del punto de ruptura o quiebre elimina los problemas de manganeso en el efluente del filtro. Los datos presentados en la figura 2.3,

muestran la relación de cloro aplicado con respecto al cloro residual y la efectividad de la oxidación de Mn(II) de los estudios realizados por los autores antes mencionados.

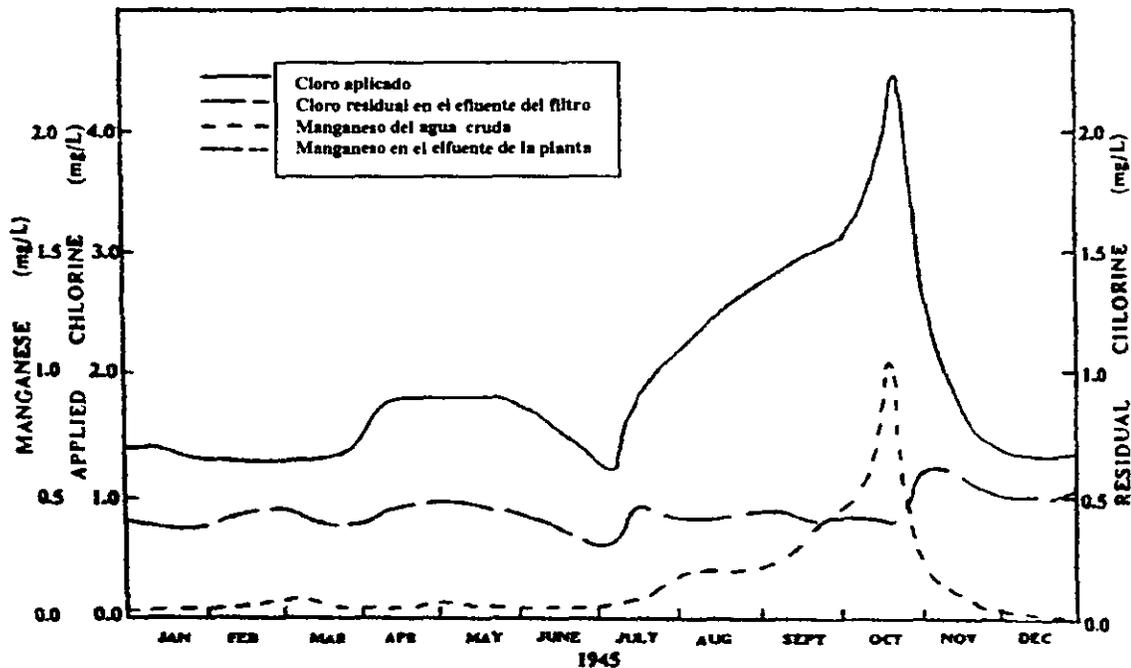


Figura 2.3 Relación del cloro aplicado, cloro residual y efectividad oxidación y remoción del Mn(II) Nota: La concentración del manganeso en el efluente fue siempre menor de 0.05 mg/l. [from Edwards & Mc Call 1946].

En 1986, la importancia de un medio filtrante “madurado” recubierto con óxido de manganeso para la eficiente remoción de Mn(II) fue reportada por *Weng y colaboradores*. Sin embargo los mecanismos de remoción para la “maduración” [Término usado por Griffin, 1960], del medio filtrante no estaban bien documentados en esas publicaciones. La importancia de la remoción de Mn(II) por sorción de $MnO_{2(s)}$ ha sido demostrada [Stumm & Morgan 1981], pero, experiencias con tratamiento de agua por filtro donde ocurría esta no son reconocidas totalmente. Este efecto de la arena verde ocurre naturalmente cuando se engloba la remoción de manganeso a través de filtros con medio de un material de zeolita comercial, siendo un mecanismo viable de tratamiento funcional. La observación de la eficiencia de remoción de Mn(II) mostró ser una función directa del área superficial, de la concentración de $MnO_{x(s)}$, de los estados de oxidación y del pH que se tenga en el agua.

Los medios filtrantes con grandes cantidades de óxido en la capa superficial típicamente tienen grado de remoción eficiente para manganeso por periodos más largos de funcionamiento.

Las formas de mayor oxidación $[MnO_{1.8(s)} - MnO_{2(s)}]$ de la capa de óxido tienen un incremento en la capacidad de remoción del Mn(II) soluble. Condiciones de pH ácido (<6.5) efectivamente inhiben el mecanismo de remoción como se observa en la figura 2.4.

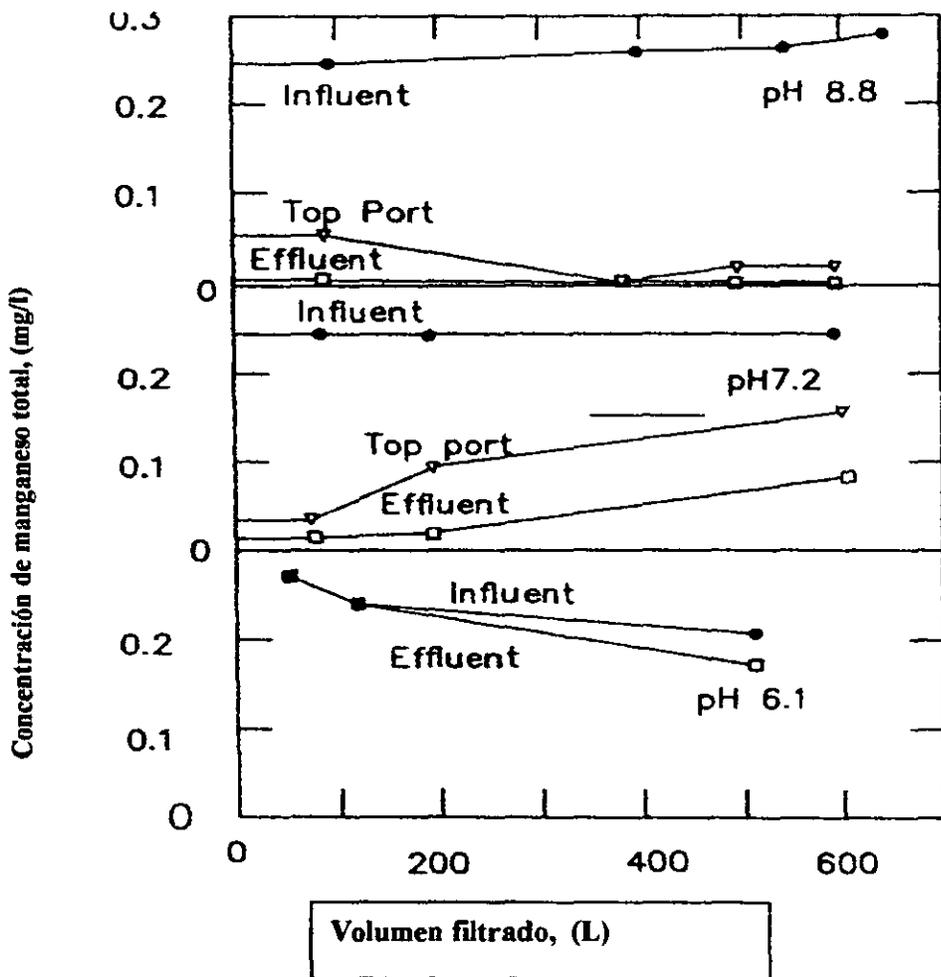


Figura 2.4 Efecto del pH sobre la remoción del Mn(II) por un medio filtrante cubierto de óxido en ausencia de un oxidante. [from Knocke et al 1988].

Los autores también reportaron que la adición de cloro justo antes de los filtros da como resultado la oxidación directa del Mn(II) sobre el recubrimiento de óxido de la superficie del medio, obteniendo una reacción con alta eficiencia a pH = 6 o por arriba de éste. En

presencia significativa de cloro libre ($> 1\text{-}2\text{mg/l}$ como Cl_2), la canalización del manganeso soluble dentro de la capa de óxido del filtro será rápida. Por ejemplo, en la figura 2.5, hay que notar que la mayor remoción de Mn(II) ocurre en las tres pulgadas superiores de estos filtros de dos pies de profundidad.

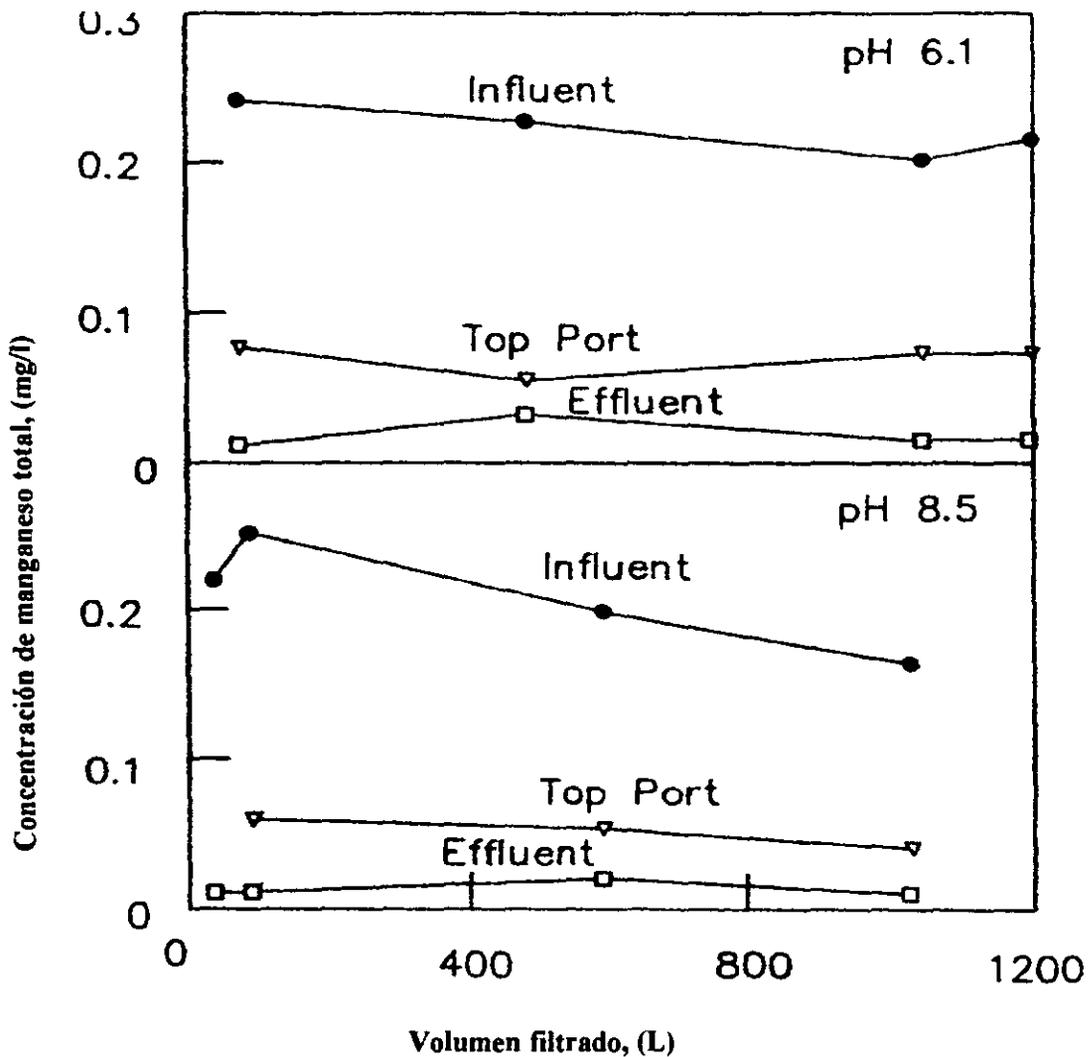


Figura 2.5 Efecto del pH y la adición de cloro sobre la remoción de Mn(II) por un medio filtrante cubierto de óxido [From Knocke et al. 1988].

CAPÍTULO 3
METODOLOGIA EXPERIMENTAL

CAPÍTULO 3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1 Modelo experimental

La parte experimental de este trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de Santa María Aztahuacan pertenecientes a la Subdirección de Desarrollo Tecnológico de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Gobierno del Distrito Federal, en este capítulo se describirán los modelos físicos utilizados en la experimentación; se mencionarán las variables que se pretende determinar con la finalidad de obtener los parámetros de diseño que permitan la construcción de una planta potabilizadora para tratar las aguas de los pozos del ramal “Ampliación Tláhuac – Neza”; y se describirán las técnicas empleadas para hacer las determinaciones de campo y laboratorio.

3.1.1 Descripción de la planta experimental.

El arreglo experimental se integró por un tanque de regulación de flujo, mezclador estático y una columna de filtración, como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 3.1.

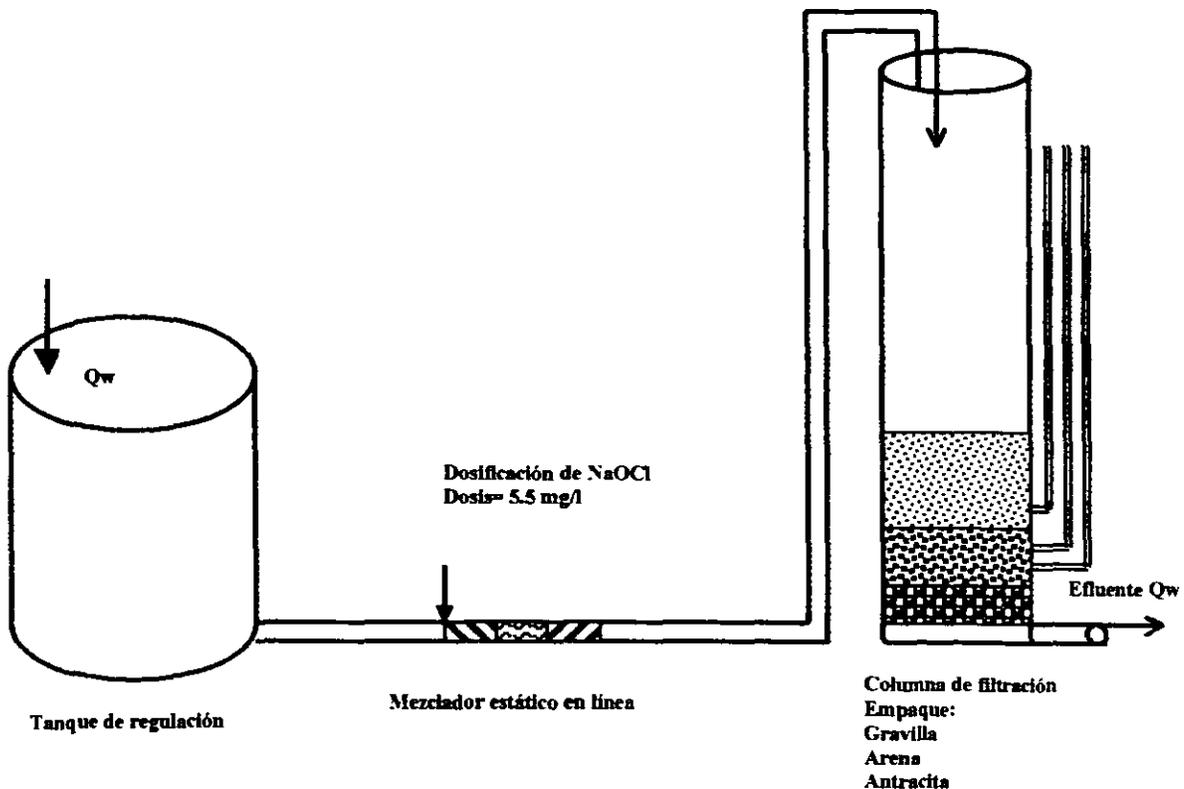


Figura 3.1 Diagrama de flujo del tren experimental

En el tanque de regulación se almacena el agua del ramal de los pozos colectados diariamente mediante un carro pipa, el volumen colectado es proporcional al gasto de cada pozo. Del tanque de regulación, el agua pasa por un mezclador estático instalado en la línea que conduce el agua hasta la columna de filtración. Al inicio del mezclador se inyecta el agente oxidante hipoclorito de sodio (NaOCl), el mezclado es rápido y homogéneo para posteriormente pasar a la columna de filtración empacado con un lecho de arena y antracita soportados en un lecho de grava.

3.1.2 Operación y flexibilidad de efectuar cambios.

Con base en trabajos previos donde se evaluaron diferentes trenes de tratamiento y, diferentes agentes oxidantes, el tren de tratamiento experimental que se implementó en la planta, cuenta con un sistema de regulación de flujo, oxidación con cloro al punto de quiebre y filtración en lecho dual arena antracita. En ésta última operación unitaria se trabajó durante todas las corridas con una carga hidráulica superficial de $CHS = 398 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$ [$16.56 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{hr})$]; esta carga hidráulica superficial cae dentro del rango recomendado por varios autores.

El gasto con el cual se trabajó fue de 17.0 l/min ($1.02 \text{ m}^3/\text{hr}$). Para cubrir este requerimiento se deberá suministrar diariamente a la planta $24.48 \text{ m}^3/\text{día}$ de agua. Para el suministro se cuenta con un carro tanque [pipa] que tiene una capacidad de 7 m^3 , el cual tendrá que realizar por lo menos cuatro viajes por día, dando un total de $28 \text{ m}^3/\text{día}$, mismo volumen que puede ser almacenado en el tanque de recepción con que cuenta la planta y que tiene una capacidad de 42.12 m^3 , el agua es una mezcla compuesta de los pozos del ramal.

La medición del gasto se hizo mediante un rotámetro, este instrumento tiene la propiedad de producir una presión diferencial que puede ser convertida en una lectura de velocidad de flujo. Puesto que las condiciones de operación en general dependen en gran medida del caudal de trabajo, cabe hacer hincapié en la importancia de conocer con precisión tal magnitud. Algunos de los factores de operación que ejemplifican tal importancia son:

- Cumplimiento de los tiempos de retención hidráulica y/ o tiempos de contacto en operación de reacción y transferencia de materia.
- Cuantificación apropiada de la eficiencia en todas y en cada una de las etapas del proceso.

La dosificación del reactivo oxidante (NaOCl) se efectúa en línea, antes de que el flujo de agua pase por el mezclador estático; la mezcla se lleva a cabo en fracción de segundos.

Respecto a las columnas de filtración, éstas cuentan con una altura total de 3.50m, tienen un diámetro interior de 28 cm, cuenta con diez piezómetros colocados a cada 10 cm de centro a centro medido a partir de los 3 cm del fondo del filtro, cuenta con un vertedero a 31 cm medido a partir del piezómetro número 10; los piezómetros son de manguera flexible transparente de ½ pulgada.

La operación de filtración se lleva a cabo por gravedad ya que se encuentra abierto a la atmósfera

El período de duración para cada corrida, está dado por la pérdida de carga, representada por los niveles piezométricos. Este criterio determina el tiempo de duración para cada corrida. Respecto al retrolavado del filtro, éste se hace invirtiendo el sentido del flujo de agua, el cual se distribuye a través de dos hidroesferas colocadas al fondo de la unidad de filtración y, la duración de dicha operación está en función de la variación de la turbiedad; la operación se detiene cuando la turbiedad se mantiene constante o alrededor de 5 UNT.

En la figura 3.2 se representa esquemáticamente al filtro piloto empleado en esta experimentación, en el cual se observa claramente lo descrito anteriormente además de la distribución del lecho arena – antracita y la grava soporte

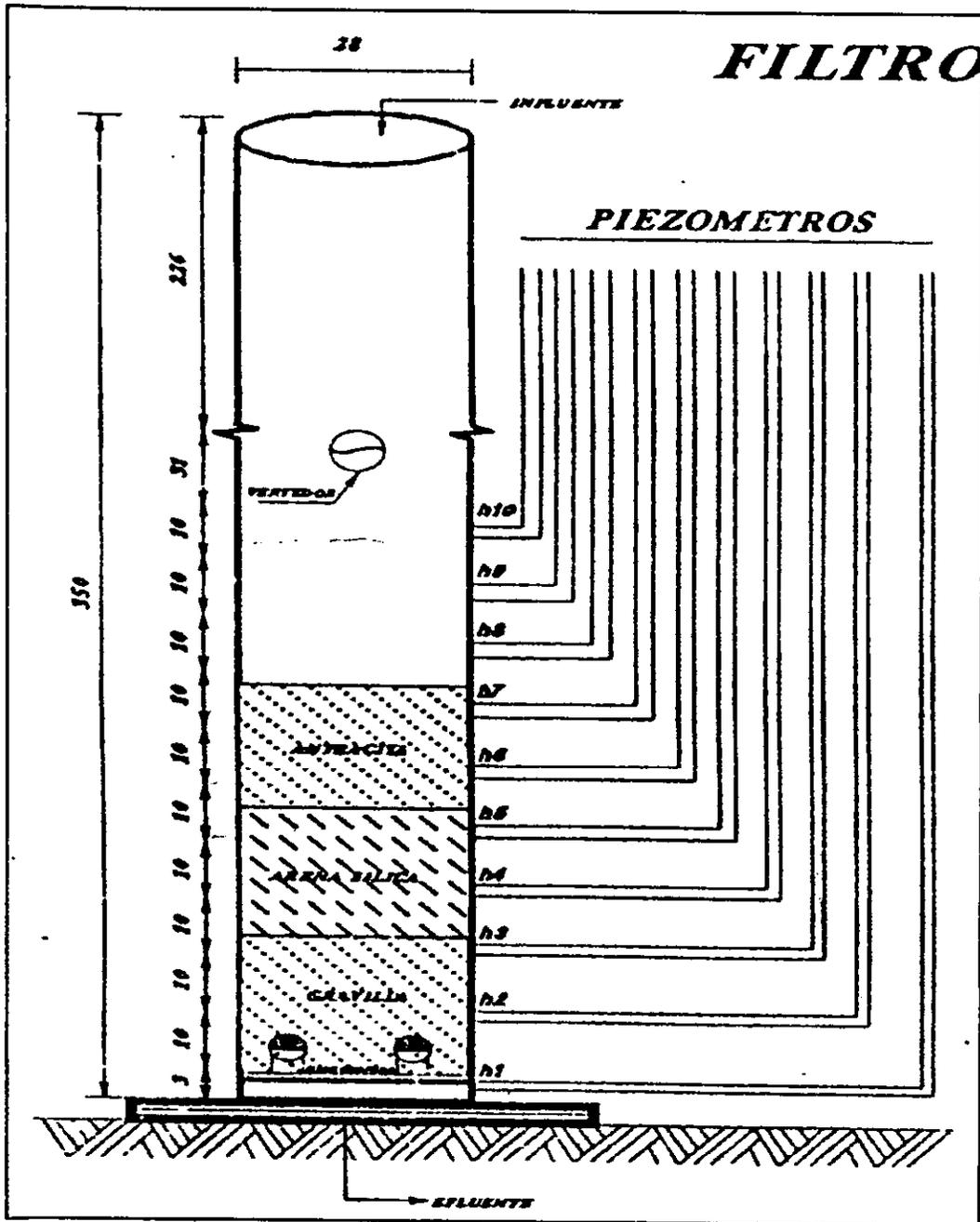


Figura 3.2 Filtro piloto utilizado en las pruebas experimentales

3.1.3 Reactivos y materiales utilizados para la operación del tren.

Los materiales utilizados en la experimentación son básicamente los empleados para el lecho del medio filtrante y soporte del mismo, las características de éstos materiales se presentan a continuación:

3.1.3.1. Material de filtración

Se utilizó grava como medio soporte del lecho de ½ pulgada de diámetro y durante toda la experimentación, la profundidad del soporte fue de 20 cm.

La arena y antracita utilizada en las pruebas experimentales es de tipo comercial. Para conocer las características granulométricas de estos materiales se realizaron pruebas en laboratorio consistentes en determinar el tamaño o diámetro efectivo (d_{10}) y coeficiente de uniformidad (C.U) del material.

$$C.U = \frac{[Abertura\ del\ tamiz\ que\ dejaría\ pasar\ el\ 60\% (mm)]}{[Abertura\ del\ tamiz\ que\ dejaría\ pasar\ el\ 10\%(mm)]}$$

Para determinar la granulometría del lecho filtrante se procede a sacar una muestra del material y analizarla en la forma siguiente:

- Coloque la muestra en un recipiente donde se le deseca a 100°C durante 12 a 24 horas hasta quitarle toda la humedad.
- Una vez desecada, se le mezcla varias veces y se extrae una porción de 200 a 500gr, la cual se pesa y se coloca en la serie de tamices seleccionados.
- Someta los tamices a vibración intensa, ya sea por sistema manual o mecánica para que el material se clasifique en ellos según su tamaño.
- Luego se extrae el contenido retenido en cada uno y se pesa cuidadosamente. Se anota el número de tamiz, el tamaño de la abertura en mm, y el peso retenido por unidad. Los resultados se expresan en términos de tamaño o diámetro efectivo y coeficiente de uniformidad.
- Para calcular estos parámetros, el peso retenido por tamiz se acumula y luego se obtiene el peso que pasa, restando al peso de la muestra el peso retenido acumulado. Posteriormente se grafica el porcentaje acumulado que pasa por tamiz en función del tamaño del grano en milímetros, con lo cual se obtiene una curva que caracteriza la distribución de dicho material.

- En esta curva se determina el tamaño del grano para el valor del 10% que pasa y ese será el diámetro efectivo. Se halla luego el tamaño del grano para el 60% y se divide por el 10% y ese será el coeficiente de uniformidad.

3.1.3.2 Dosis de cloro al punto de quiebre

El reactivo utilizado para la oxidación del manganeso es la solución de hipoclorito de sodio al 12.5%. las propiedades fisicoquímicas de este compuesto se presentan en la siguiente tabla

Tabla 3.1 Propiedades físicas del hipoclorito de sodio.

Propiedad	Grado hogar A	Grado hogar B	Grado Industrial
Cloro disponible (%volumen)	5	12.5	15
Densidad, lb/gal.	9.0	9.9	10.05
Punto de cristalización, °F	24.8	1.4	-1.4
Gravedad específica, 20°C	1.075	1.185	1.205
Viscosidad, Saybolt seg. 75°F	30.7	32.8	34.6
Cloro disponible g/l	50	125	150
Cloro disponible lb/gal.	0.42	1.04	1.25
Basicidad libre, g/l NaOH	1.0	2.5	4 a 15
Carbonatos libres, g/l (Na ₂ CO ₃)	0.5	1.5	2.5
Hierro como Fe ³⁺ , mg/l	0.1min-0.5 máx.	0.3min.-1.0máx.	0.5min.-1.0 máx.
pH	10.6	10.6	10.82 a 11.2
Color	Amarillo verdoso	Amarillo verdoso	Amarillo verdoso
Olor	Cloro	Cloro	Cloro
Estado físico	Líquido	Líquido	Líquido

La dosis de cloro al punto de quiebre se obtiene al realizar pruebas en laboratorio de demanda de agente oxidante.

- En un matraz volumétrico de 1000 ml clase A, adicione 500ml de agua destilada y de 2 a 5 ml de cloro comercial.
- Afore el matraz con la solución de cloro y agua.
- Titular por triplicado con solución de tiosulfato de sodio (Na₂S₂O₃) al 0.024 Normal una muestra de 50ml de la solución aforada

Para realizar la titulación de la muestra se deben seguir los siguientes pasos:

- ❖ A un matraz erlenmeyer adicione 2 ml de ácido acético glacial, 10ml de agua destilada, aproximadamente un gramo de yoduro de potasio y finalmente adicione 50ml de la muestra de la solución de cloro.

Para determinar los miligramos por litro de hipoclorito que hay en la solución, se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{mg de Cl}_2/\text{l} = (A \times N \times 35.45) / (\text{volumen de la muestra})$$

3.1.4 Parámetros de estudio.

Los parámetros de interés de este trabajo son:

- Espesor del lecho filtrante
- Fluidización del lecho

3.1.4.1 Espesor del lecho filtrante.

Para poder determinar el espesor del lecho, se realizarán corridas de filtración en la cual se hacen variaciones del espesor de la arena y de la antracita, el espesor óptimo será aquel que proporcione largas carreras de filtración con calidad del efluente dentro de los límites que marca la norma, para ello, durante la corrida de filtración se efectúan mediciones de manganeso, así como las pérdidas de carga que se generan durante la filtración esto con la finalidad de medir la profundidad de penetración del floc de los óxidos de manganeso.

3.1.4.2 Fluidización del lecho

Como parte de las pruebas experimentales, se llevarán a cabo pruebas de fluidización del lecho. En esta sección se analizará el fenómeno desde el punto de vista matemático para posteriormente compararlos con los resultados obtenidos en las pruebas experimentales

Cuando la velocidad de lavado es baja, el lecho no se expande, ni su porosidad se modifica considerablemente. A medida que se va incrementando dicha velocidad, las fuerzas debidas a la fricción aumentan hasta llegar a superar el peso propio de las partículas, momento en el cual éstas dejan de hacer contacto unas con otras y se separan, quedando suspendidas libremente en el líquido.

Las propiedades de la mezcla sólido – líquido que se forma en este caso, se parecen más a las de un fluido y por eso se dice que el lecho se fluidifica. Por lo que sólo cuando el lecho no está expandido, la pérdida de carga es una función lineal de la velocidad del flujo ascendente, pero cuando éste se fluidifica, la pérdida de carga alcanza su valor terminal máximo y no aumenta más o aumenta muy poco con la velocidad de lavado.

Esto se da porque durante el retrolavado la resistencia a la fricción de las partículas iguala la pérdida de carga del lecho expandido. [Fair et al; 1968; Fair and Hatch 1933], así que:

$$h_L = \rho g = (\rho_s - \rho)(1 - \epsilon_e)L_e g$$

Rearreglando la ecuación anterior tenemos:

$$h_L = (\rho_s - 1)(1 - \epsilon_e)L_e \tag{ec3.1}$$

Donde:

ρ_s = Densidad del material.

h_L = Pérdida de carga del lecho expandido.

ρ = Densidad del agua

ϵ_e = Porosidad del lecho expandido

g = Aceleración debida a la gravedad.

El valor de ϵ_e puede ser determinado por la ecuación:

$$\epsilon_e = (V_b/V_s)^{0.22} \tag{ec3.2}$$

Donde:

V_b = Velocidad de flujo ascendente del agua de retrolavado

V_s = Velocidad de sedimentación de la partícula

De ésta manera, un lecho de partículas uniformes se expandirá cuando:

$$V_b = V_s \times \epsilon_e^{4.5} \tag{ec3.3}$$

De acuerdo con la ley de conservación de la materia, la masa de arena que hay en un volumen no expandido será igual al volumen de la arena en un lecho expandido, matemáticamente expresado como:

$$\rho(1 - \epsilon)A \times L = \rho(1 - \epsilon_e) A \times L_e \tag{ec3.4}$$

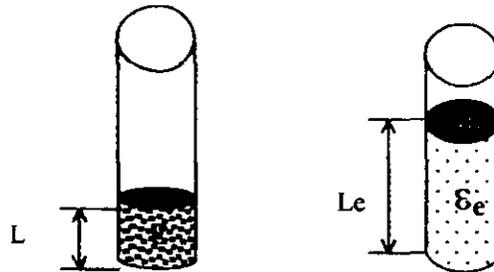
En donde:

A = Area del lecho.

ϵ = Es la porosidad de la arena.

$(1-\epsilon)$ = es la parte sólida de la arena en el lecho no expandido

$(1-\epsilon_e)$ = es la parte sólida en el lecho expandido.



Reagrupando términos, tenemos:

$$L_e = Lx \left[\frac{(1-\epsilon)}{(1-\epsilon_e)} \right] \quad \text{ec3. 5}$$

Sustituyendo la ecuación (3.2) en la ecuación (3.5) se obtiene una expresión para determinar la expansión del lecho:

$$L_e = Lx \left[\frac{(1-\epsilon)}{1 - \left(\frac{V_b}{V_s} \right)^{0.22}} \right] \quad \text{Ec. 3.6}$$

Para lechos estratificados, las partículas más pequeñas en la capa superior expandirán primero. Una vez V_b es suficiente para fluidizar las partículas más grandes, el lecho entero será expandido.

La expansión del lecho es representada por una modificación de la ecuación (3.6).

$$L_e = Lx(1-\epsilon)x \sum \left[\frac{x_i}{(1-\epsilon_e)} \right] \quad \text{Ec.3.7}$$

En donde

x_i = es la fracción en peso de la partícula con una porosidad expandida ϵ_e

La velocidad de sedimentación de la partícula es:

$$V_s = \left[\frac{4g(S_s - 1)}{3CD} x d \right]^{1/2} \quad ec3.8$$

Donde:

CD = Es el coeficiente de arrastre, el cual está definido por:

- | | |
|---|-------------------------------|
| 1) CD = 24 / Re | Para Re < 1 |
| Flujo laminar | |
| 2) CD = 24/Re + [3/Re ^{1/2}] + 0.34 | para 1 < Re < 10 ⁴ |
| Flujo en transición | |
| 3) CD = 0.44 | Para Re > 10 ⁴ |
| Flujo turbulento | |
| Re = número de Reynolds. | |

$$Re = [\Phi d V_s] / \nu \quad ec3.9$$

Φ = Esfericidad.

ν = Viscosidad cinemática.

V_s = velocidad de asentamiento de la partícula [de gráfico 9.5 pag.266 Reinholds T. M 1996]

Para el caso particular de cuando tenemos lechos con partículas de densidad distinta, (arena $S_{arena}=2.65$; antracita $S_{antrac}= 1.50$), diversos investigadores han llevado a cabo estudios de los cuales concluyen que existen tres fases en el acomodo de un lecho filtrante durante el retrolavado. Véase figura 3.3.

Zona 1.- Al fluir el lecho, el material de menor densidad A se coloca encima del material B de mayor densidad.

Zona 2.- El material A y B se mezclan completamente.

Zona 3.- El material de mayor densidad B se coloca encima del material de menor densidad A.

Los trabajos realizados por Le Clair (1964) concluyen que la mezcla total del lecho filtrante empieza a producirse a velocidades mucho menores a la del punto C de corte.

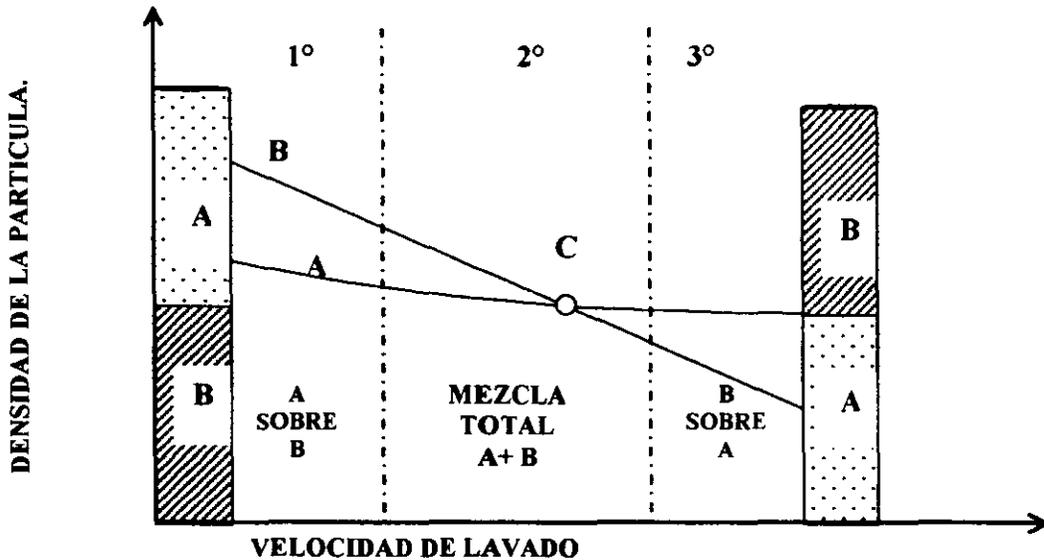
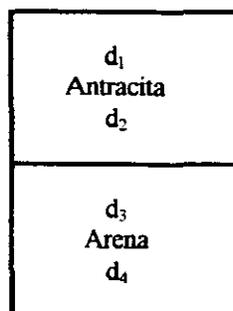


Figura 3.3 Relación de la mezcla del lecho de diferentes densidades en función de la velocidad de lavado.

Debido a que en la práctica, esto representa muchos problemas, algunos autores atacan el problema tratando de encontrar una relación geométrica entre el grano mayor del lecho de menor densidad d_2 (antracita), que se desea que quede encima, y el grano menor del lecho de mayor densidad d_3 (arena), que se desea que quede debajo. La relación d_2/d_3 representaría así la relación de tamaños en la interfase arena - antracita



Este principio parte de la suposición de que si d_2 y d_3 tienen la misma velocidad de sedimentación, los granos no pueden mezclarse, sino formar dos capas claramente distinguibles.

Se puede considerar que dos partículas de diferente densidad y tamaño d_2 y d_3 tienen la misma velocidad de sedimentación, así sus masas en el agua son iguales considerando que se tiene régimen laminar.

Por lo tanto:

$$(\pi/6)d_2^3(\rho_s^{\cdot} - \rho) = (\pi/6)d_3^3(\rho_s^{\cdot\cdot} - \rho) \quad \text{ec.3.10}$$

$$[d_2 / d_3] = [(\rho_s^{\cdot\cdot} - \rho) / (\rho_s^{\cdot} - \rho)]^{1/3} \quad \text{ec.3.11}$$

Donde:

d_2 = Diámetro del grano mayor que va encima en la interface.

d_3 = Diámetro del grano menor que va inmediatamente debajo de la interface

ρ_s^{\cdot} = Densidad de la partícula d_2 .

$\rho_s^{\cdot\cdot}$ = Densidad de la partícula d_3

ρ = Densidad del agua.

Para el caso en que tenemos régimen no laminar, la ecuación 3.11 se modifica:

$$[d_2 / d_3] = [(\rho_s^{\cdot\cdot} - \rho) / (\rho_s^{\cdot} - \rho)]^x \quad \text{ec.3.12}$$

Donde x es un coeficiente que depende del número de Reynolds y que para flujo de transición varía entre 0.5 y 1.0. [Faust et al 1960]

Mientras la relación d_2 / d_3 sea más grande, es más posible que los granos pequeños penetren entre los poros de los granos grandes y se mezclen completamente, aunque las densidades de unos y otros sean distintas.

Si $d_2 / d_3 \approx 1$ indica que no habrá posibilidad ninguna de mezcla de granos de diferente densidad.

Para el caso concreto del lecho utilizado para la experimentación del ramal de pozos “Ampliación Tláhuac – Neza”, en el que tenemos lecho dual con 20cm de arena y 40 cm de antracita, la relación de diámetros es:

Considerar $x = 0.70$

$d_2 =$ antracita.

$d_3 =$ arena.

$$[d_2 / d_3] = [(2.65 - 1) / (1.50 - 1)]^{0.7} = 2.30$$

$$[d_2 / d_3] = 2.30$$

Esto quiere decir que si se tienen granos de arena en su parte superior de 0.425mm, se esperaría tener granos de antracita en la interface de $d_2 = 0.425\text{mm} * 2.3 = 0.98\text{mm}$, sin embargo, estos granos son un poco más grandes, de 3.36mm por lo que se espera que haya intermezclado en la interface del lecho.

Se han desarrollado otras ecuaciones para determinar la relación d_2/d_3 , propuestas por Fair (1968), Conley (1969) y otros, pero por lo general dichas ecuaciones involucran factores, que no se conocen o requieren experimentación cuidadosa para poderlos conocer.

Respecto al análisis matemático de la expansión del lecho y la expansión de su porosidad, este se efectuó tomando en consideración las propiedades granulométricas de cada uno de los materiales, las tasas de retrolavado utilizadas para el análisis son las mismas que se emplearán en las pruebas de fluidización. Los resultados se presentan en la tabla 3.2. Todo el desarrollo matemático se presenta en el anexo E del presente documento.

Tabla 3.2. Resultados del analisis matematico del lecho de filtracion

$$\% \text{exp } Le = (Le-L)/Le; \quad \% \text{exp } \epsilon = (\epsilon_e - \epsilon)/\epsilon_e$$

TASA	ARENA						
	RETROL. (m ³ /m ² -día)	Prof. L (m)	Poros. ϵ	Expansión		% exp. Lecho	% exp. ϵ_e
701.58	0.00812	0.2	0.43	0.2617	0.573	23.58	24.9
818.58	0.0095	0.2	0.43	0.275	0.593	27.27	27.5
935.44	0.0108	0.2	0.43	0.287	0.61	30.31	29.5

1052.4	0.01218	0.2	0.43	0.3002	0.626	33.38	31.3
1169.3	0.01353	0.2	0.43	0.313	0.641	36.10	32.9
1286.24	0.0149	0.2	0.43	0.3256	0.654	38.57	34.3
1403.16	0.01624	0.2	0.43	0.338	0.667	40.83	35.5
1520	0.01759	0.2	0.43	0.351	0.679	43.02	36.6
1637.02	0.019	0.2	0.43	0.365	0.69	45.21	37.7
1753.9	0.0203	0.2	0.43	0.378	0.7	47.09	38.6

ANTRACITA							
701.58	0.00812	0.4	0.48	0.476	0.636	16.02	24.60
818.58	0.0095	0.4	0.48	0.501	0.659	20.21	27.16
935.44	0.0108	0.4	0.48	0.525	0.677	23.81	29.18
1052.4	0.01218	0.4	0.48	0.549	0.696	27.18	31.03
1169.3	0.01353	0.4	0.48	0.574	0.712	30.31	32.61
1286.24	0.0149	0.4	0.48	0.599	0.727	33.17	34.03
1403.16	0.01624	0.4	0.48	0.623	0.741	35.79	35.27
1520	0.01759	0.4	0.48	0.649	0.754	38.37	36.39
1637.02	0.019	0.4	0.48	0.667	0.767	40.03	37.46
1753.9	0.0203	0.4	0.48	0.704	0.778	43.16	38.37

En las figuras 3.4 y 3.5 se presenta los gráficos de la expansión del lecho filtrante así como la expansión de la porosidad.

Figura 3.4 expansión del lecho filtrante en función de la tasa de retrolavado.

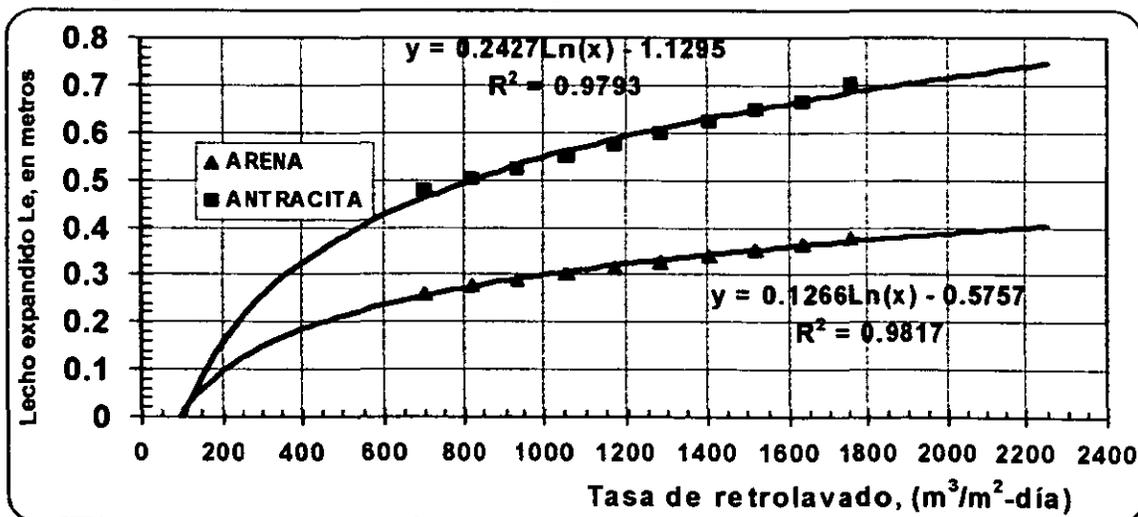
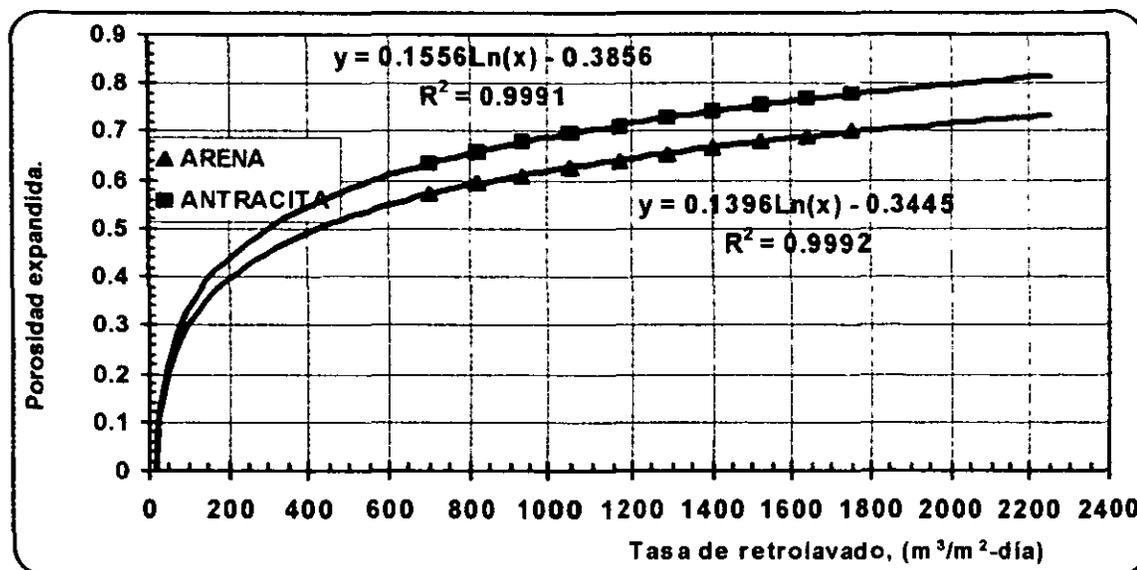


Figura 3.5 Expansión de la porosidad del lecho en función de la tasa de retrolavado.



3.1.4.3 Tasa de retrolavado.-

Con base en los resultados de las pruebas de fluidización, se llevarán a cabo los retrolavados del filtro al final de cada ciclo o corrida de operación y se medirá la pérdida de carga producida por esta operación así como la turbiedad, esto último con la finalidad de medir la capacidad de limpieza de la tasa de retrolavado.

3.2 Mediciones de campo y laboratorio.

3.2.1 Determinación analítica de la demanda de cloro.

Dependiendo de la naturaleza de las sustancias presentes en el agua, el átomo de cloro al combinarse sufre un cambio a ion cloruro orgánico o inorgánico. Entre las sustancias reductoras se encuentran el Fe^{2+} , Mn^{2+} , NH_3 , junto con la mayor parte del material orgánico, como es el caso de los coliformes. La demanda de cloro se realizó según el Standard Methods for Water and Wastewater, 1992. El equipo utilizado fue un espectrofotómetro Hach DR -700.

3.2.2 Determinación analítica de turbiedad y color.

Para la determinación del color se siguió la metodología del Standard Methods for Water and Wastewater, 1992, mediante la técnica de comparación visual o platino – cobalto, ya que éste es el que recomienda la norma para medir el color del agua potable.

Para hacer las determinaciones de turbiedad se utilizó el método nefelométrico, el cual involucra principios de nefelometría. Los resultados son fáciles de obtener y se expresan en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

3.2.3 Determinación analítica del Manganeso (II).

[Standard Methods for Water and Wastewater, 1992]

La determinación analítica de estos elementos se hizo mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica a la llama y se llevaron a cabo en el Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua perteneciente a D. G. C. O. H., se decidió utilizar ésta técnica por ser rápida (5 – 15 segundos), su principal ventaja es la exactitud y porque el rango de concentración óptimo coincide con las concentraciones encontradas en el agua de los pozos del ramal.

3.2.4 Mediciones de la tasa de operación y retrolavado, pérdida de presión y expansión del lecho.

Durante la carrera de filtración se miden periódicamente los niveles piezométricos para determinar la pérdida de carga por diferencia de niveles. En la operación de retrolavado se hacen mediciones similares, también se mide la altura de expansión del lecho, esto se logra gracias a que el filtro piloto es de acrílico transparente lo que permite ver cuanto se expande.

CAPÍTULO 4
ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de la experimentación para la determinación de los parámetros de diseño de una planta potabilizadora en el ramal "Ampliación Tláhuac - Neza para mejorar la calidad del agua, el cual tiene como contaminante principal al manganeso, este se removerá del agua mediante oxidación con hipoclorito de sodio al punto de quiebre seguido de la filtración en un lecho de arena - antracita soportado en grava.

Se muestran los análisis granulométricos del material filtrante y las pruebas de demanda de cloro para la determinación de la dosis óptima del agente oxidante (hipoclorito de sodio).

Se presentan los resultados del comportamiento de los parámetros que afectan el proceso de tratamiento como son el manganeso, color, turbiedad, cloro residual total, la pérdida de carga en la carrearera de la filtración y en el retrolavado. Adicionalmente se dan los resultados de las pruebas de fluidización previas a la operación de retrolavado del filtro.

4.1 Resultados del análisis granulométrico.

La granulometría del lecho filtrante estará de acuerdo a las condiciones de los materiales empleados, para lo cual se llevó a cabo un análisis granulométrico. La técnica utilizada es la que se describió en el capítulo 3 de éste documento.

En las tablas 4.1 y 4.2 se presentan los resultados que se obtuvieron en las pruebas de granulometría.

Tabla 4.1 Análisis granulométrico de la arena sílica

TAMIZ		MATERIAL				
No.	Apertura.(mm) di	Ret.(gr) (a)	Acumulado (gr.) $\Sigma(a)$	Pasa Ac.(gr) 500- $\Sigma(a)$	Pasa Ac. (%) $[(500-\Sigma(a))*100/500]$	% peso reten. (a)*100/500
14	1.400	2.85	2.850	497.150	99.43	0.57
20	0.841	34.40	37.250	462.750	92.55	6.88
30	0.590	431.60	468.850	31.150	6.23	86.32
35	0.500	8.00	476.850	23.150	4.63	1.60
40	0.425	18.95	495.800	4.200	0.84	3.79
Charola	---	4.20	500.000	---	---	0.964
TOTAL		500.00				

Tabla 4.2 Análisis granulométrico de la antracita

TAMIZ		MATERIAL				
No.	Apertura (mm) di	Ret. (gr) (a)	Acumulado (gr.) $\Sigma(a)$	Pasa Ac. (gr) 500- $\Sigma(a)$	Pasa Ac. (%) $[(500-\Sigma(a))*100/500]$	% peso reten. $(a)*100/500$
6	3.36	24.95	24.95	475.05	95.01	4.99
10	2.00	92.75	117.7	382.3	76.46	18.55
12	1.68	204.3	322	178	35.6	40.86
14	1.41	158.6	480.6	19.4	3.88	31.72
20	0.841	15.35	495.95	4.05	0.81	3.07
22	0.83	2.25	498.2	1.80	0.36	0.45
30	0.59	0.80	499.0	1.0	0.20	0.16
40	0.425	0.65	499.65	0.35	0.07	0.13
Charola	----	0.35	500.00	--	---	0.07
	TOTAL	500.00				

Las curvas que se desprenden de este análisis son las que se muestran en las figuras 4.1 y 4.2.

Con base en estas figuras se determinan las características del lecho filtrante, las cuales se presentan en el tabla 4.3

Para determinar el coeficiente de uniformidad, se divide el tamaño del grano que pasa por el tamiz al 60% entre el tamaño del grano que pasa por el tamiz al 10%, esto es,

$$Cu = [D_{60} / D_{10}].$$

Si $Cu \leq 1.1$ el material es uniforme.

Tabla 4.3 propiedades de la arena y antracita:

ARENA	
Tamaño efectivo (D_{10})	0.61 mm.
Tamaño en el percentil 60 (P_{60}) :	0.76 mm.
Coefficiente de uniformidad :	1.255
Porosidad ϵ	0.43
Factor de forma ϕ	0.78
Dureza en la escala de Moh ¹ . Aprox.	7
Densidad ρ_{ar}	2.65
ANTRACITA	
Tamaño efectivo 10 (D_{10}) :	1.46 mm.
Tamaño en el percentil 60 (P_{60}) :	1.69 mm.
Coefficiente de uniformidad :	1.16
Dureza en la escala de Moh. Aprox.	3
Porosidad ϵ	0.48

Factor de forma ϕ	0.46
Densidad ρ_{ant}	1.50

¹ La escala de Moh determina comparativamente la dureza de los minerales por la capacidad que cada uno de ellos tiene para rayar al otro. Van de uno a diez, así: 1-Talco, 2-Yeso, 3-calcita, 4-Fluorita, 5-Apatita, 6-ortoclasa, 7-Cuarzo, 8-Topacio, 9-Corindón, 10-Diamante. Una dureza de 7 por ejemplo, significa que deberá rayar a la ortoclasa pero dejarse rayar por el topacio.

Figura 4.1 Análisis de la granulometría de la arena.

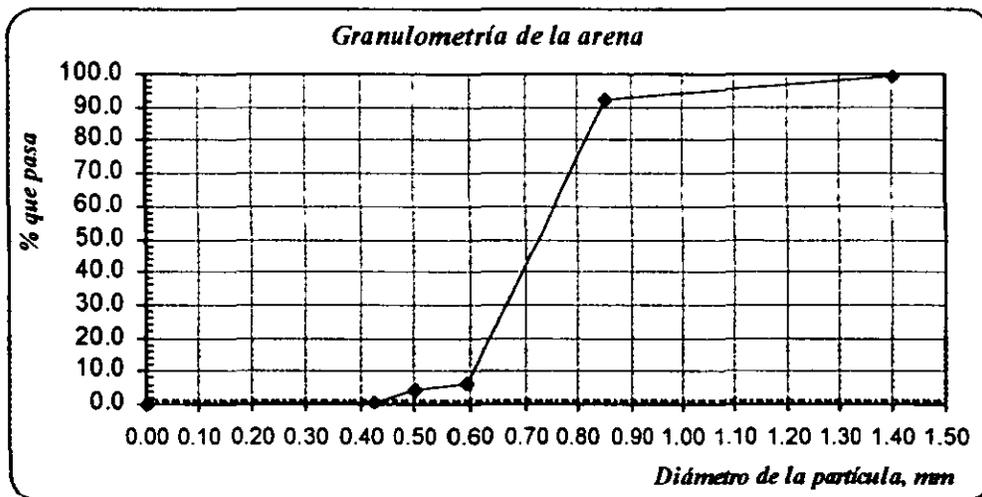
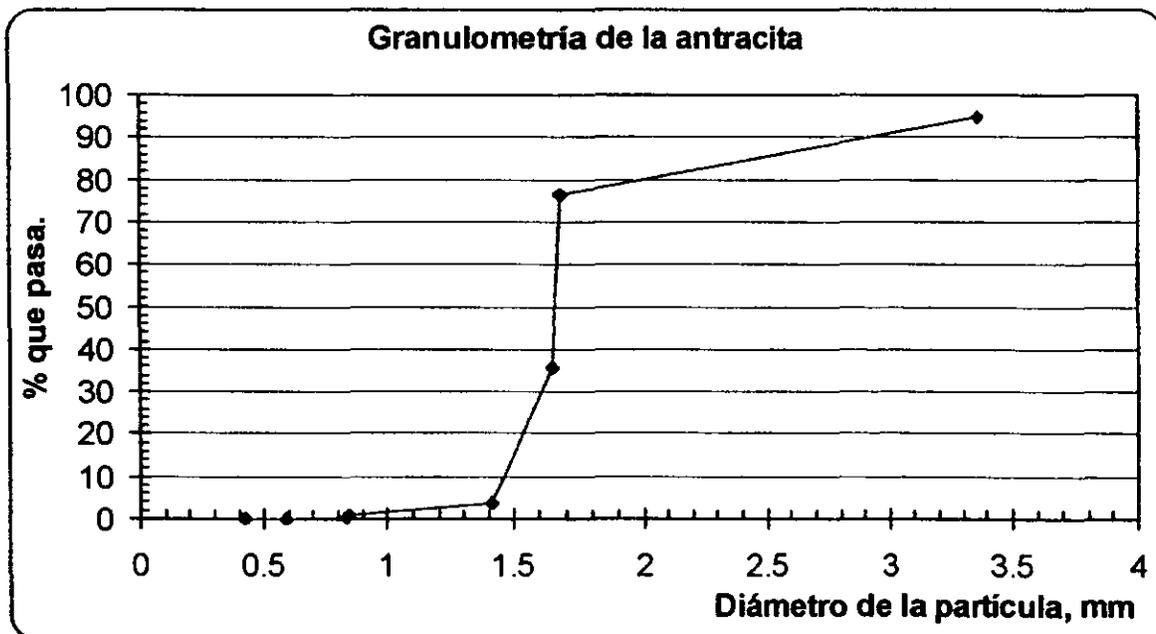


Figura 4.2 Análisis de la granulometría de la antracita.



4.2 Resultados de la prueba de demanda de cloro.

Para determinar la dosis de NaOCl se efectuaron pruebas de demanda de cloro al punto de quiebre, esta varía con la cantidad de cloro aplicado, tiempo de contacto, pH y temperatura mediante las cuales se encontró que la dosis de NaOCl es de 5.5 mg/l. A esta dosis se alcanza el punto de quiebre como se puede apreciar en la figura 4.3 y se mantiene un residual total de alrededor de 1.0 – 1.2 mg/l. En la tabla 4.4 se presentan los resultados del análisis para la determinación de la demandad de cloro, el agua que se utilizó para realizar la prueba fue una muestra representativa de cada uno de los pozos.

Tabla 4.4 Prueba para determinar la dosis óptima de cloro.

Reactivo: Hipoclorito de sodio

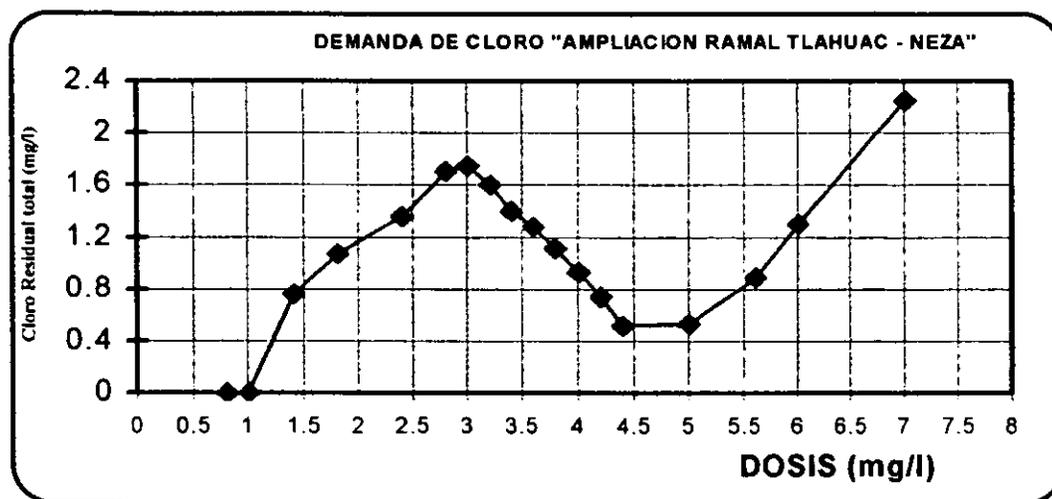
Dosis mínima : 0.8 mg/l

Volumen de 500ml

Tiempo de contacto: 15 minutos

Muestra No.	Dosis (mg/l)	% de transmitancia	Cl ₂ .resid libre (mg/l).
1	0.8	95.5	0
2	1	93.5	0
3	1.4	80.2	0.76
4	1.8	77.2	1.07
5	2.4	70.8	1.36
6	2.8	34.8	1.71
7	3	71.2	1.75
8	3.2	58.5	1.6
9	3.4	70.3	1.4
10	3.6	70.6	1.28
11	3.8	78	1.11
12	4	75.4	0.93
13	4.2	80.5	0.74
14	4.4	84.6	0.52
15	5	84.4	0.533
16	5.6	75.4	0.89
17	6	71	1.3
18	7	57.3	2.25

Figura 4.3 Demanda de cloro del agua del ramal.



4.3 Profundidad del lecho filtrante.

4.3. 1.- Antracita 20 cm –Arena 40 cm.

Se realizaron varias pruebas con diferentes espesores de los materiales de filtración con la finalidad de determinar el espesor del lecho filtrante que garantice una buena calidad del agua efluente; cabe destacar que durante toda la experimentación se trabajó con tasa constante de filtración de $400 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{-día})$, la cual representa una tasa alta de filtración [Recomendaciones de Arboleda V. J. 1995; AWWA 1990].

Cuando se trabajó con una profundidad de lecho de 20 cm de antracita y 40 cm de arena los resultados fueron los que se representan en los gráficos siguientes:

Figura 4.4-a Distribución de la pérdida de carga en el lecho filtrante[20 cm antracita-40cm arena]

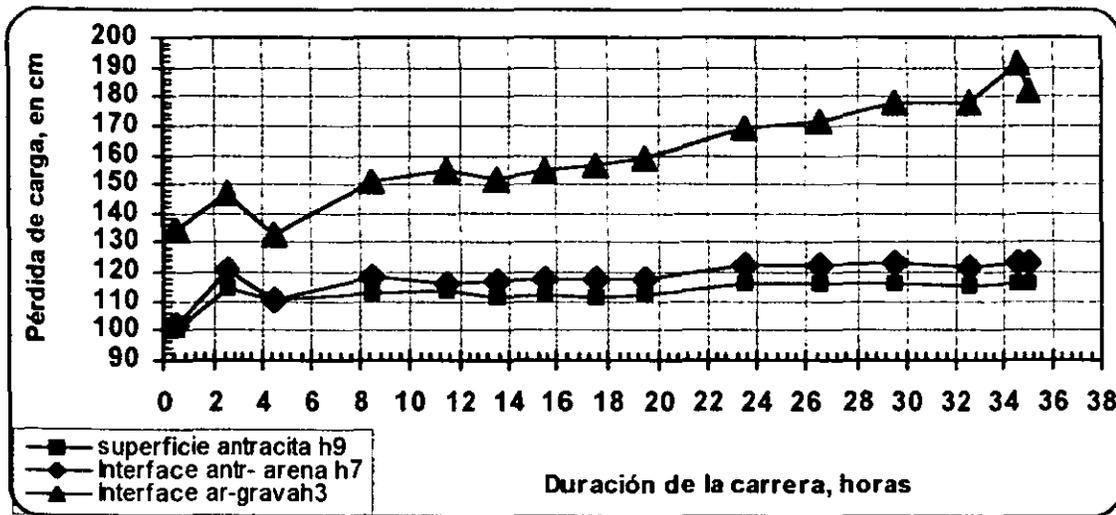
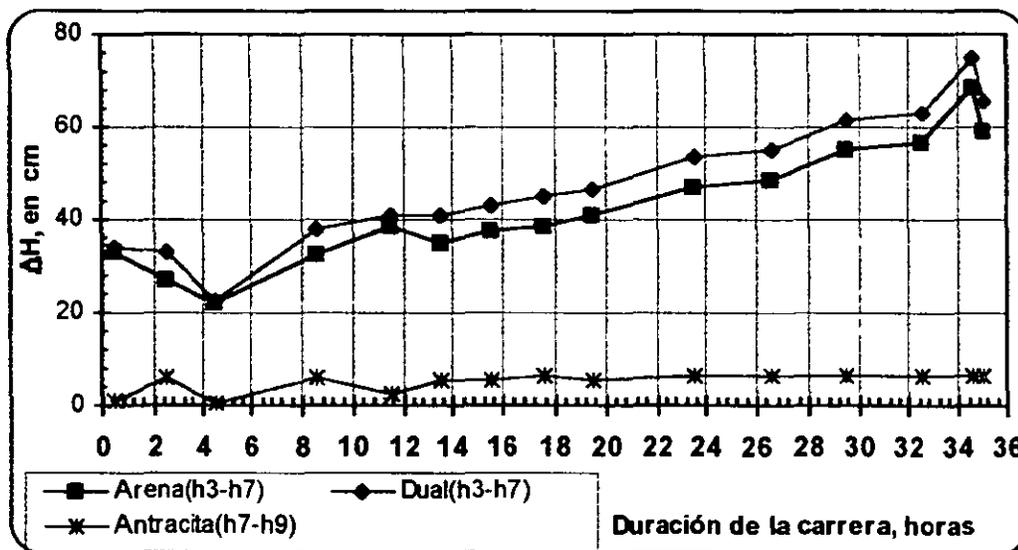


Fig. 4.4 – b pérdida total de carga en el filtro durante la prueba experimental[20cm antracita-40cm arena]



Tomando como referencia la figura 3.2 del capítulo anterior en donde se aprecian la colocación de los piezómetros, tenemos que la medición del lecho es la siguiente:

La numeración de los piezómetros es de abajo hacia arriba y el No. 1 se encuentra ubicado en el fondo del soporte de grava, el piezómetro No3 se encuentra en la interface del lecho arena- grava, la distancia de centro a centro de los piezómetros es de 10 cm

Para el caso en que tenemos 20cm antracita y 40 cm de arena, el piezómetro No. 7 se encuentra en la interface del lecho antracita – arena.

Para el caso de cuando el lecho es de 20cm de arena y 40 cm de antracita, el piezómetro No9 se encuentra en la superficie del lecho de antracita y el piezómetro No 5 está en la interface del lecho arena antracita, mientras que el piezómetro No 3 se encuentra en la interface del lecho arena.- grava soporte.

Antes de iniciar el análisis de la figura 4.4, cabe hacer mención de lo siguiente:

Cuando un filtro limpio inicia su operación, las impurezas se acumulan en la capa superficial del lecho; sin embargo a medida que avanza la corrida, las impurezas se extienden al fondo del lecho del filtro. Las impurezas acumuladas causan un incremento en la pérdida de carga, la magnitud de ésta se puede expresar mediante la ecuación de la conservación de la energía de Bernoulli entre un punto en la superficie y un punto al fondo del filtro:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + H_L \quad Ec.4.1$$

Donde:

V_1, V_2 = Velocidades respectivas.

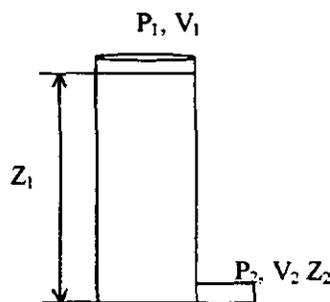
P_1, P_2 = Presiones respectivas.

Z_1, Z_2 = Elevaciones en los puntos respectivos.

γ = Peso específico del agua.

g = Aceleración debida a la gravedad.

H_L = Pérdida de carga en metros o pies.



Si consideramos que el sistema es filtración por gravedad, entonces $P_1 = 0$ y $V_1 \approx 0$ y la altura en el punto 2 es $Z_2 = 0$, entonces la ecuación 4.1 queda:

$$\frac{P_2}{\gamma} = Z_1 - \frac{V_2^2}{2g} - H_L \quad \text{Ec.4.2}$$

En el caso particular del filtro con el cual se realizaron las pruebas experimentales, se tiene como espejo de agua o profundidad de la capa de agua sobre el lecho filtrante alturas de 1.2m; 0.6m de lecho filtrante, 0.2m de soporte grava y 0.05m de bajo dren, esto da un valor de $Z_1 = 1.2\text{m} + 0.6\text{m} + 0.2\text{m} + 0.05\text{m} = 2.05\text{m}$ y la velocidad en la tubería de descarga se calcula en función del gasto efluente y el diámetro de la tubería; la velocidad en la tubería de salida es de 0.88m/s, con estos datos la presión en el punto 2 es la siguiente:

$$\frac{P_2}{\gamma} = 2.05\text{m} - \frac{(0.88)^2}{2(9.81)} - H_L = 2.01 - H_L$$

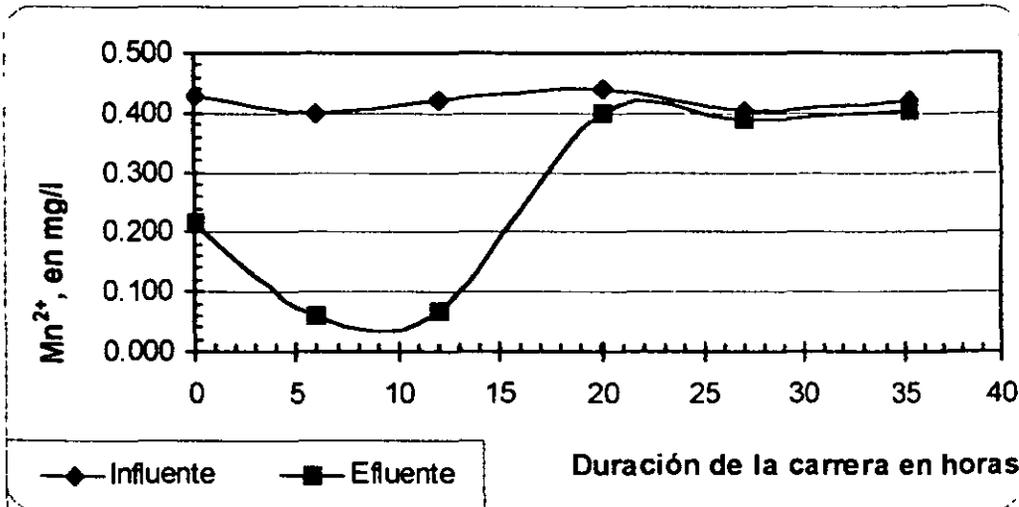
Cuando la pérdida de carga alcanza un valor de 2.01, la presión en el punto 2, si se continua con el proceso, se crean pérdidas de carga negativas lo cual es indeseable. La importancia de la disminución de presión en el filtro radica en el hecho de que cuando el agua está saturada de aire, cualquier disminución en la presión en el líquido, de acuerdo con la ley de Henry, rompe el equilibrio de la interfase y libera burbujas que se adhieren a los granos del lecho e incrementan rápidamente la tasa de pérdida de carga, el filtro queda así obstruido por el aire.

Se observa de la figura 4.4-a que en el lecho de antracita la pérdida de carga es mínima, la pérdida de carga crece más rápido a través del lecho de arena hasta llegar a la interface arena-grava soporte; en la figura 4.4-b se muestra el avance de la pérdida de carga a través de las diferentes capas del medio filtrante, se observa que el avance en la pérdida de carga es más rápido en el lecho de arena, debido a que la profundidad del medio es más grande con respecto al de la antracita.

En la figura 4.5 se aprecia el comportamiento del manganeso a través de la carrera de filtración, se observa que la remoción de manganeso a partir de las doce horas de operación es muy baja, ya que la concentración en el influente y el efluente de la columna son prácticamente las mismas. Durante la prueba no se alcanza a cumplir con la NOM-127-

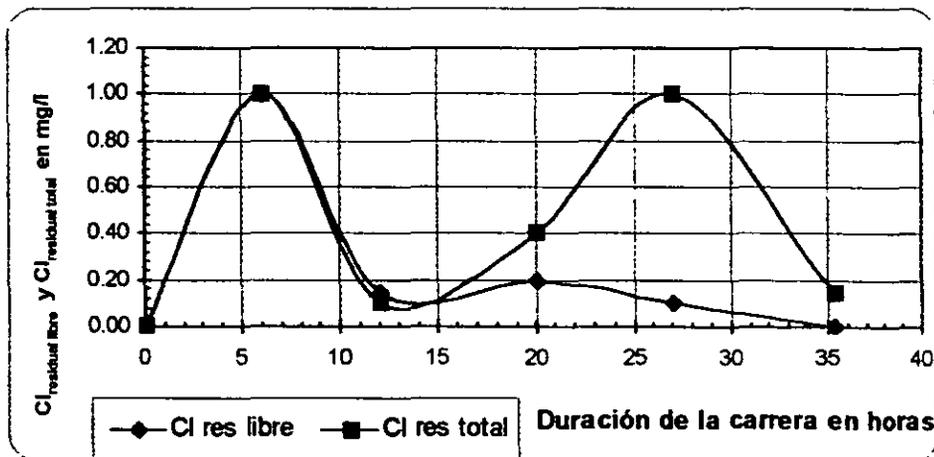
SSA-1 1994 para el consumo humano, ya que la concentración de manganeso en el efluente excede los 0.15 mg/l.

Figura 4.5 Comportamiento del manganeso durante la experimentación [antracita 20cm, arena 40cm]



Respecto al consumo de cloro, cabe recordar que la dosificación se hizo en línea en un mezclador estático, la dosis empleada estuvo en función de la demanda de cloro [figura 4.3] la cual señala 5.5 mg/l. En la figura 4.6 se observa que el cloro residual total estuvo por debajo de 1 mg/l, entre 0.15 – 0.40 mg/l; lo cual señala que el cloro dosificado reaccionó con otras impurezas del agua tales como el nitrógeno amoniacal. Sin embargo esta concentración de cloro residual satisface la NOM -127-SSA1-1994 la cual establece un rango de 0.2 a 1.5.

Figura 4.6. Cloro residual libre y cloro residual total en el efluente del proceso [antracita 20cm-arena 40cm]

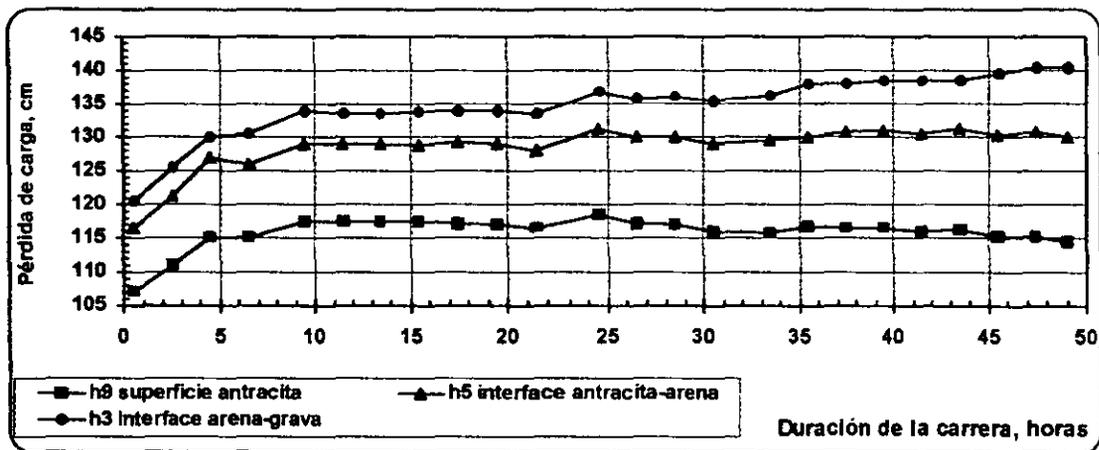


Básicamente el cambio de las condiciones de operación estuvo influenciada por la concentración de manganeso en el efluente, la cual no satisface la normatividad para consumo humano.

4.3.2.- Antracita 40cm – Arena 20cm.

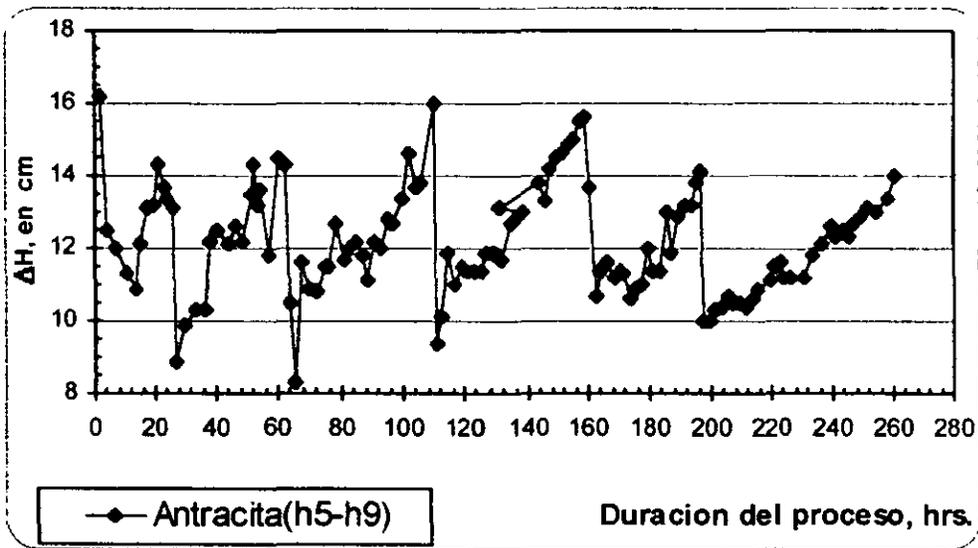
La segunda etapa de la experimentación consistió en efectuar cambios en el lecho filtrante, para esta etapa se utilizó una profundidad del lecho de arena de 20 cm y por la antracita de 40cm, la figura 4.7 muestra el comportamiento de una de las experimentaciones realizadas bajo estas condiciones reportada como orden de trabajo 005 [todas las pruebas experimentales se reportaron bajo el nombre de ordenes de trabajo]

Figura 4.7 Distribución de la pérdida de carga en el lechofiltrante [antracita 40cm – arena 20cm].



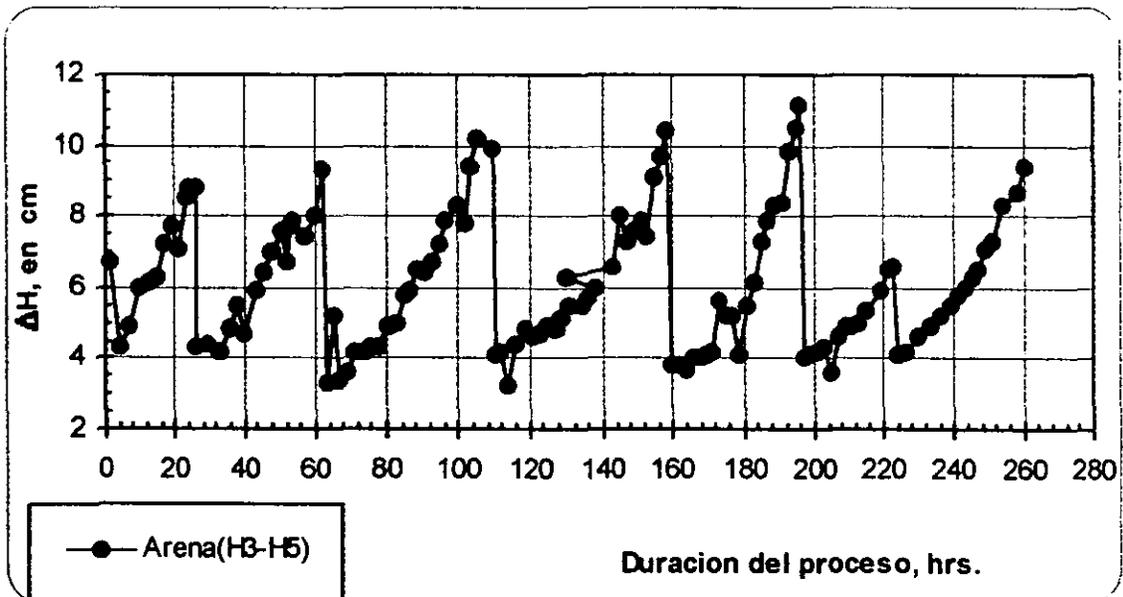
En la figura 4.8 se presenta el comportamiento del avance de la pérdida de carga durante la experimentación para la antracita.

Figura 4.8 Avance de pérdida de carga en el lecho de 40cm antracita.



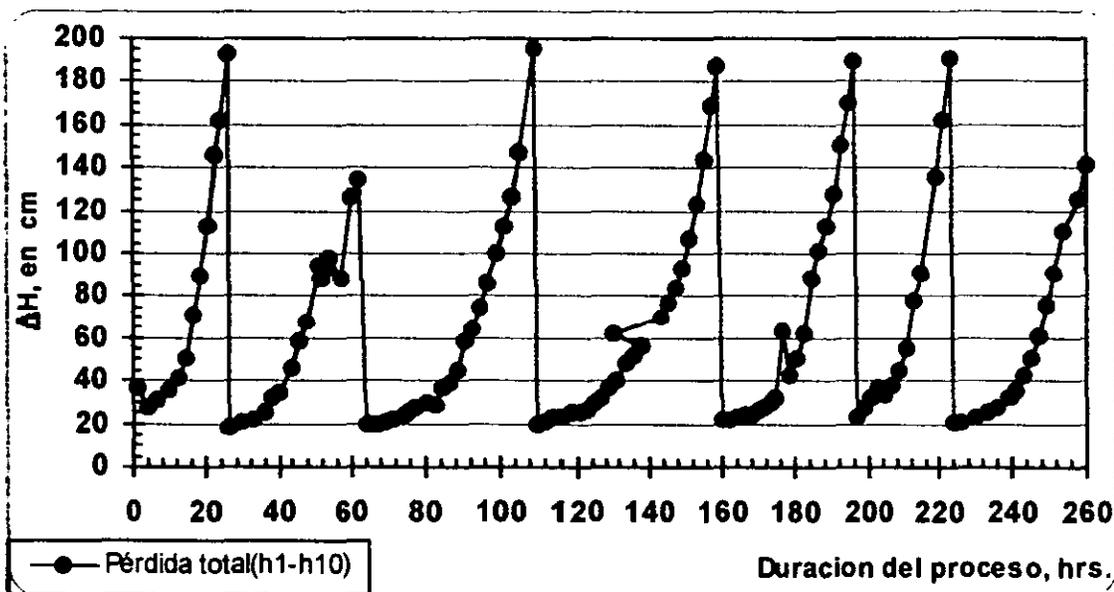
En la figura 4.9 se presenta el avance de la pérdida de carga para el lecho de arena durante todo el tiempo que duró la experimentación.

Fig. 4.9-Distribución del avance de la pérdida de carga en el lecho de 20cm de arena.



En la figura 4.10 se observa la pérdida de carga total de las siete corridas experimentales en donde se trabajó con las condiciones de lecho antes mencionadas, en ésta figura se observa que al fondo del soporte de grava es donde se genera la mayor pérdida de carga, la cual alcanzó valores de 190cm, éste valor es muy cercano al obtenido teóricamente mediante la ecuación de Bernoulli [de 201 cm], valores más altos generan presiones negativas que perjudican el proceso, razón por la cual se detenía la operación del proceso cuando la carga del filtro se acercaba a 200cm. Los resultados del avance de la pérdida de carga se presentan en el anexo C.

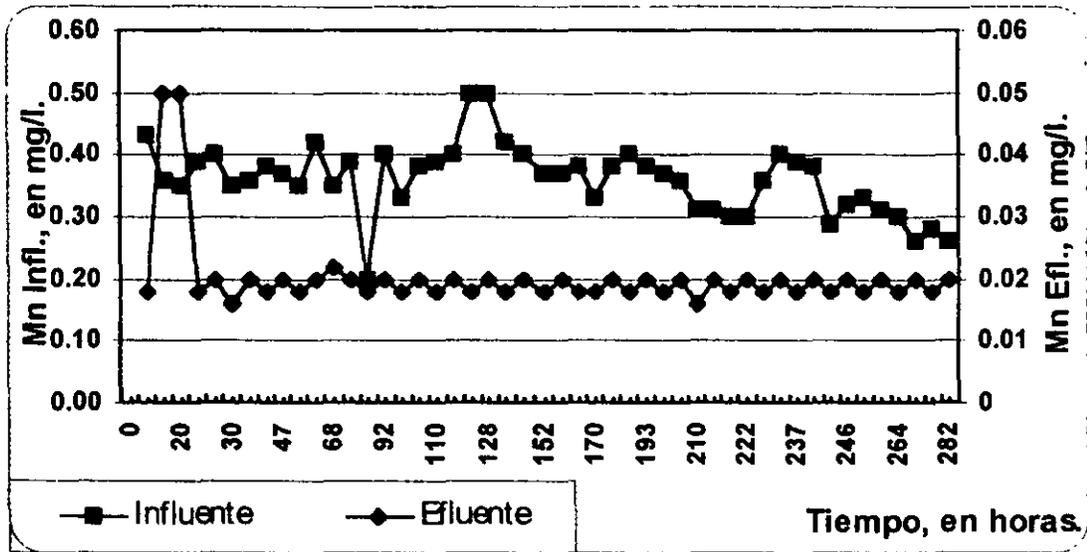
Fig. 4.10 avance de la pérdida total de la carga en el filtro.



4.3.3 Análisis de los parámetros que afectan el proceso.

Respecto al comportamiento del manganeso, este parámetro presentó eficiencias de remoción del 95 al 99% como se puede apreciar en la figura 4.11 la concentración en el efluente se mantiene prácticamente constante de 0.02 mg/l, el cual está muy por abajo del valor que exige la NOM – 127 SSA. Así como los límites máximos permisibles de la EPA-US y la OMS, los cuales exigen valores de 0.15 y 0.1 mg/l

Figura 4.11 Comportamiento del manganeso en la segunda parte de la experimentación [antracita 40cm – arena 20cm]



Cabe destacar de la figura 4.11 que aún después de cada retrolavado, la concentración de manganeso en el efluente no se alteraba, lo cual confirma la efectividad del proceso.

En la figura 4.12 y 4.13 se presenta el comportamiento del manganeso y el color en el influente y el efluente del proceso respectivamente.

Figura 4.12 Comparación del manganeso y el Color en el influente del proceso. [Antracita 40cm – arena 20cm]

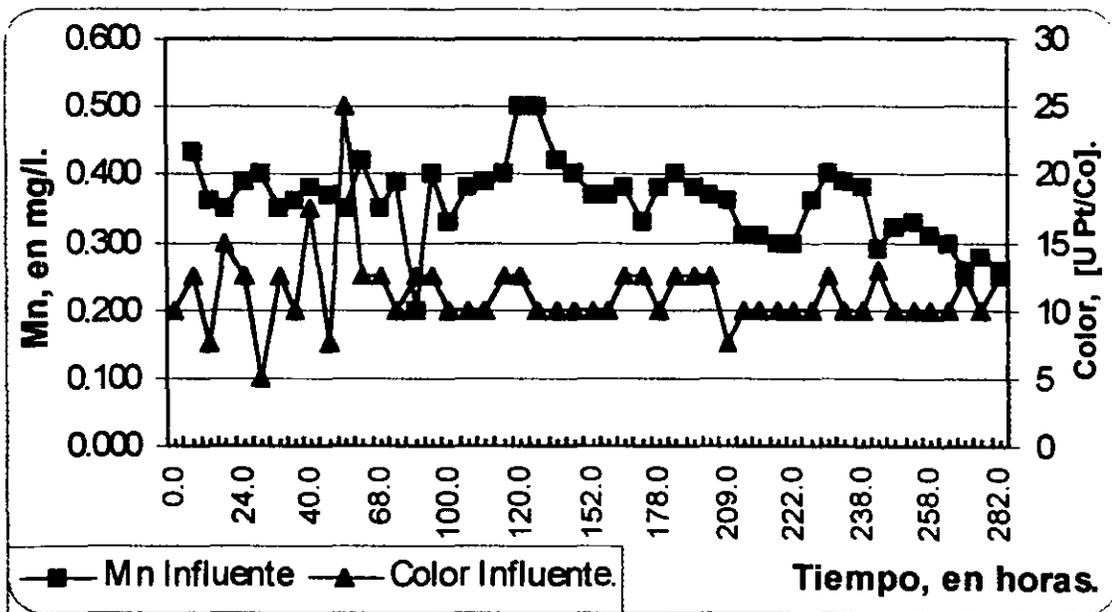
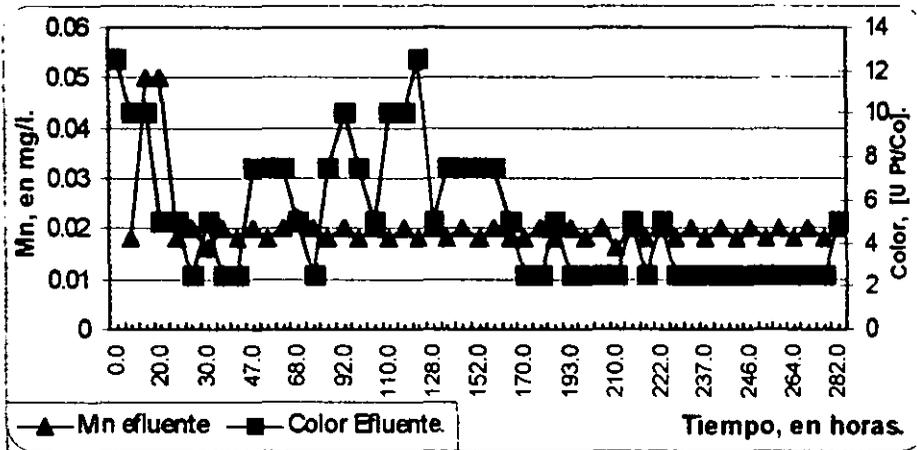


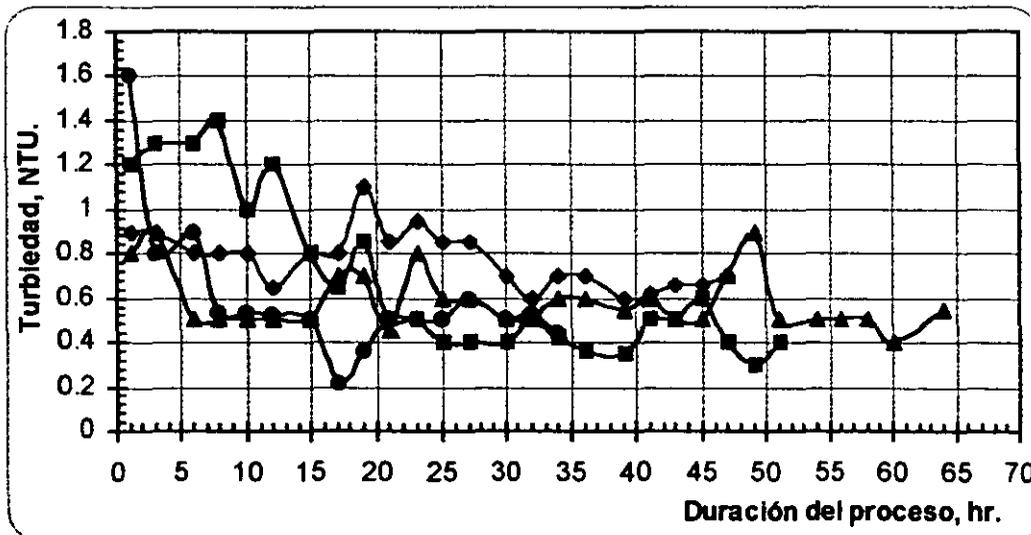
Figura 4.13 Comparación del manganeso y el Color en el efluente del proceso.[Antracita 40cm-arena20cm]



En la figura 4.13 se observa que la disminución del color disminuye al disminuir la concentración del manganeso con los que se confirma que el color está influenciado por la presencia de manganeso.

Otro parámetro que fue analizado es la turbiedad, los resultados de este análisis se resumen en la figura 4.14, en esa figura se observa que la turbiedad en el efluente del proceso, al iniciar la operación de filtración una vez que se llevó a cabo el retrolavado, la turbiedad tiene valores que rebasan una UNT, pero pasadas las primeras 5 a 10 horas, la turbiedad se mantiene en un valor alrededor de 0.5- 0.7 UNT, este valor está por abajo del que establece la normatividad que es de 5 UNT.

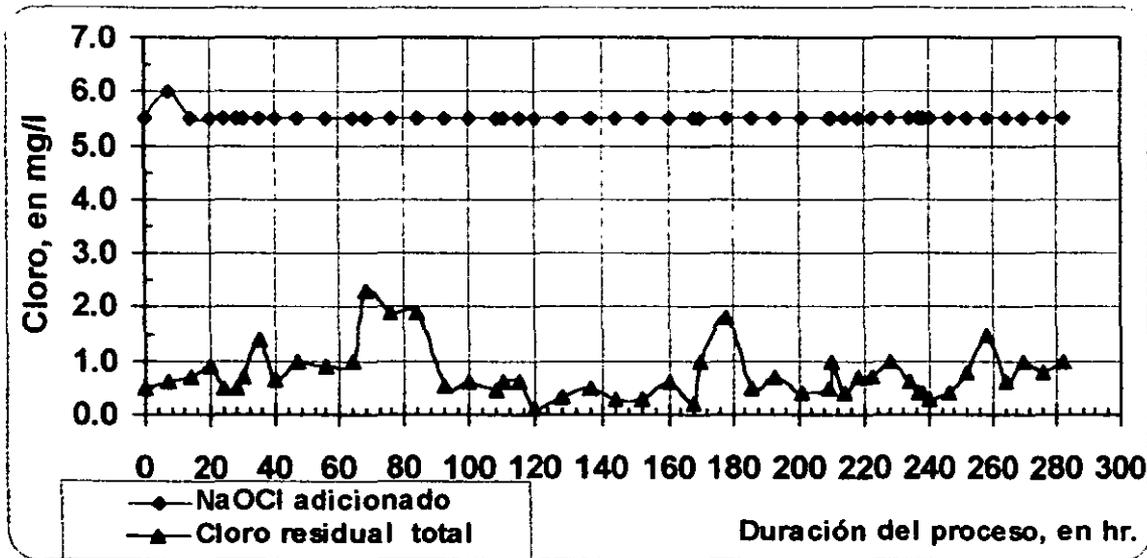
Figura 4.14 Turbiedad en el efluente del proceso.



Un parámetro importante en el desarrollo del proceso es el cloro libre y el cloro total, ya que esto nos indica cuánto cloro se consumió y con cuánto cloro se dispone en el efluente.

Puede verse de la figura 4.15 que el cloro residual total en la mayoría de los casos se encuentra por debajo de 1 mg/l

Figura 4.15. Relación del cloro adicionado y cloro residual total en el efluente del proceso



4.3.4 Determinación de los cloruros

Los cloruros, se encuentran por lo general como cloruro de sodio, por lo que la NOM 127 – SSA establece como límite máximo 250 mg/l; en el influente de nuestro proceso la concentración de cloruros se presentó en un rango de 75 a 90 mg/l. En el efluente del proceso, después de haber adicionado el oxidante [NaOCl], la concentración de cloruros se incrementó de un 10 a un 15%, esto ocurrió tanto en la primera parte de la experimentación [Antracita 20 cm – arena 40cm] como en la segunda [Antracita 40cm – arena 20cm].

Este incremento en los cloruros se debe básicamente a que el oxígeno de los iones de hipoclorito reaccionan con los iones de manganeso y los cloruros se unen al sodio dando la reacción siguiente:



Figura 4.16 Comportamiento de los cloruros durante la experimentación con lecho de 20cm de antracita-40cm de arena

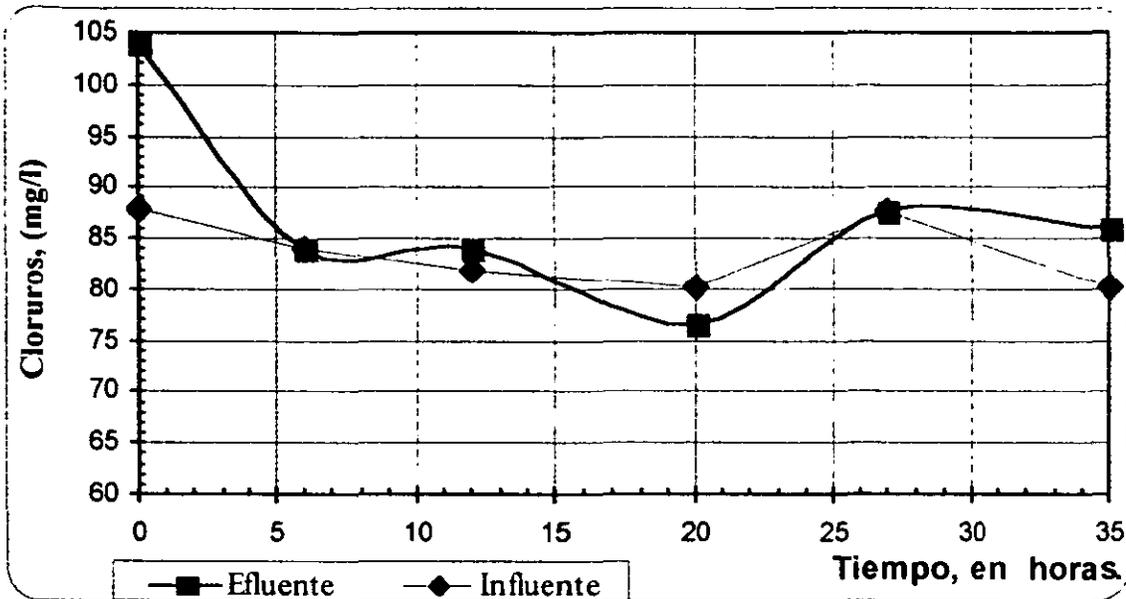
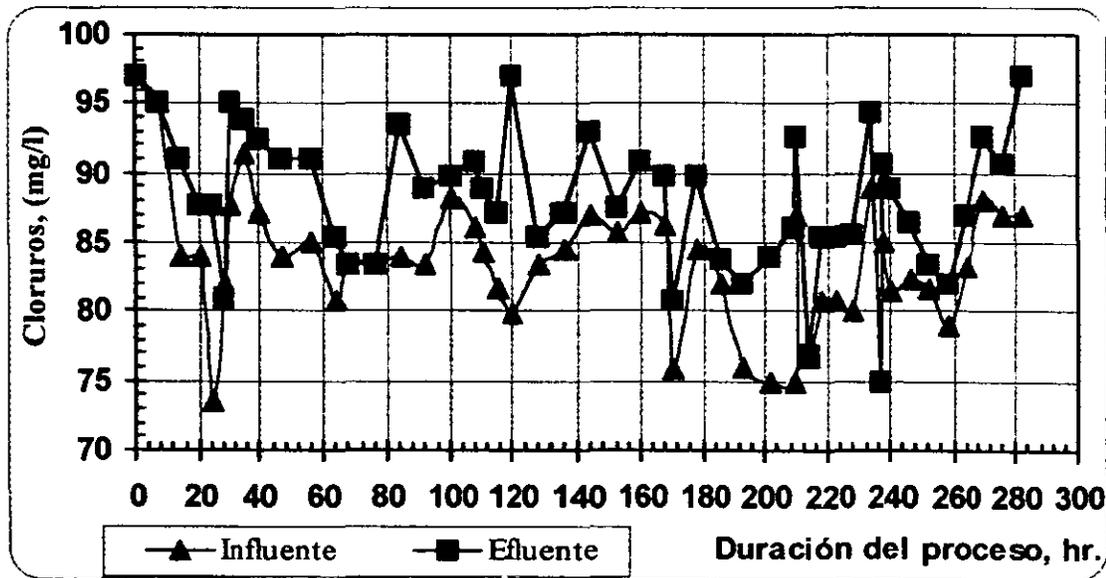


Figura 4.17 Cloruros en el efluente de la experimentación con lecho de 40cm de antracita y 20 cm de arena.



Las concentraciones de cloruros en el efluente del proceso están por debajo del límite máximo establecido por la norma que sanciona la calidad de agua para consumo humano por lo que este parámetro no representa ningún problema en el efluente del proceso.

4.4 Pruebas de fluidización del lecho filtrante para la determinación de la tasa de retrolavado.

Otra etapa de la experimentación fue la realización de las pruebas de fluidización del lecho, estas pruebas nos permitieron aproximarnos a la tasa de retrolavado del filtro y con ello efectuar los retrolavados.

Las pruebas se realizaron a lecho limpio utilizando profundidades de 20cm de arena y 40 cm de antracita soportados en 20 cm de grava, los resultados que se obtuvieron se resumen en la tabla 4.5.

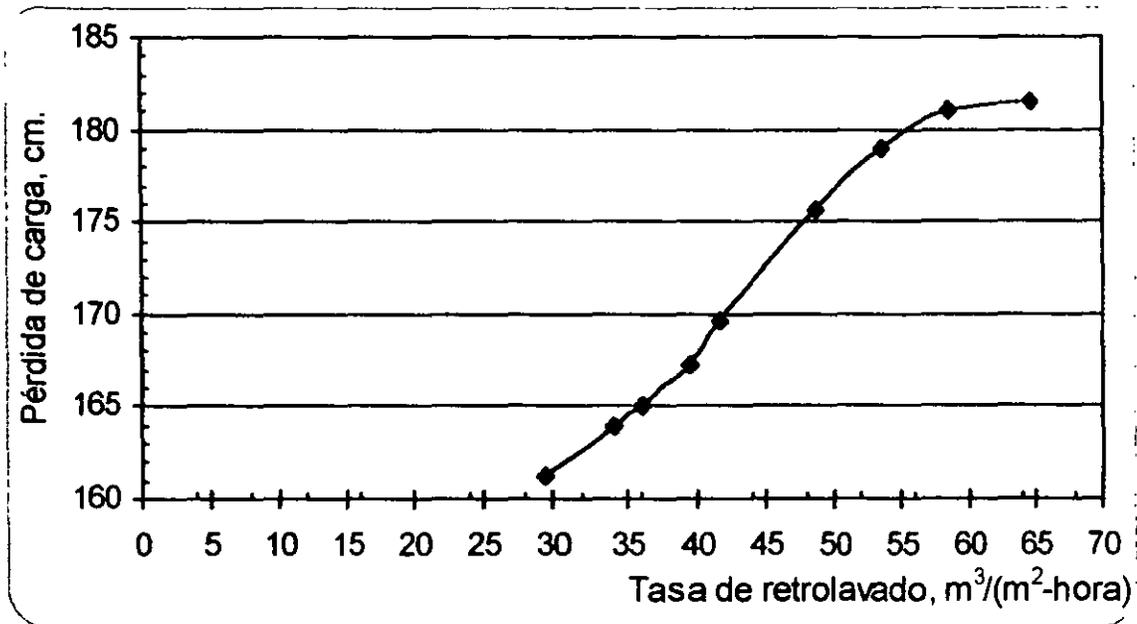
Tabla 4.5 Expansión del lecho limpio durante las pruebas de fluidización

LECHO: arena =20 cm, grava=20 cm, antracita = 40cm

Tasa de retrolavado		Carga total $H_{L-retrolavado}$ (cm)	Expansión (cm)		% expansión	
$m^3/(m^2-día)$	$m^3/(m^2-hora)$		Arena	Antracita	Arena	Antracita
701.64	29.24	161.3	0	5	0	11.11
818.58	34.11	164	1.4	6.8	7	17
935.44	38.97	167.2	1.9	7.8	9.5	19.5
1052.4	43.85	169.6	2.3	9.3	11.5	23.25
1169.3	48.73	175.7	2.2	13.8	11	34.5
1286.24	53.60	179	2.2	17.0	11	42.5
1403.28	58.47	181	2.3	19.2	11.5	48
1520	63.34	181.5	2.9	22.5	14	56.25

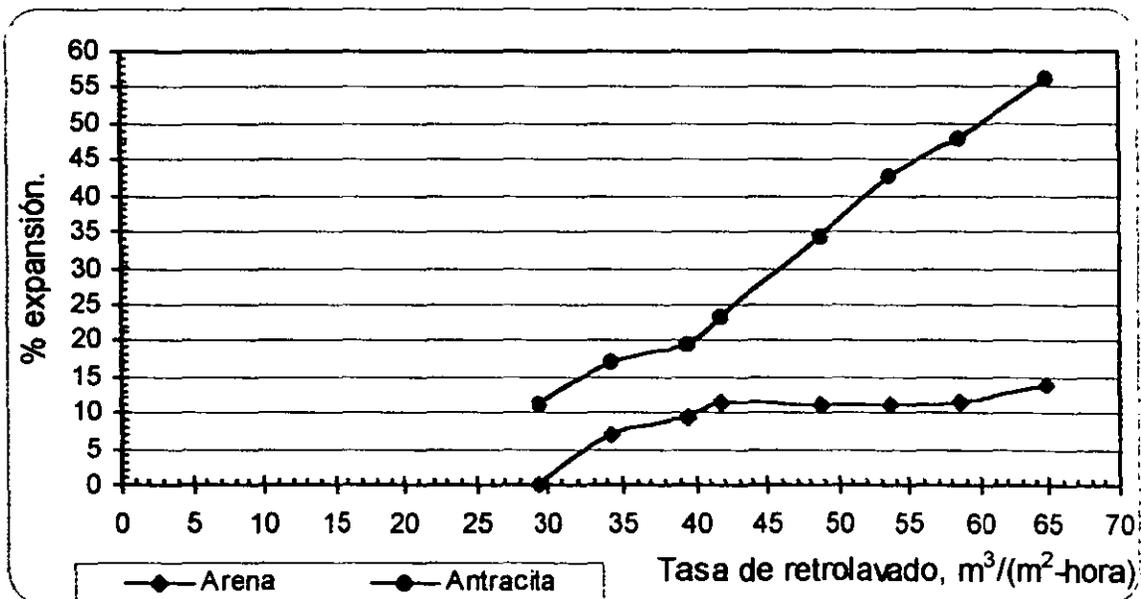
Con base en los resultados que se presentan en esta tabla, se gráfico la pérdida de carga en función de la tasa de retrolavado, se observa que la pérdida de carga empieza a hacerse asintótica a un valor de $h_L = 181cm$, al que le corresponde una tasa de retrolavado de alrededor de $1368m^3/(m^2-día)$ [$57 m^3/(m^2-hr)$].

Figura 4.18 Pérdida de carga a diferentes tasas de retrolavado.



Con respecto a la expansión del lecho, se graficó el porcentaje de expansión tanto del lecho de arena como el de antracita el cual se presenta en la figura 4.19, en ésta se observa que la antracita se expande hasta en un 55%, mientras que la arena sólo alcanza una expansión del 14%, esto se justifica debido a que la antracita tiene un peso específico menor que la arena.

Fig. 4.19 Expansión del lecho filtrante a diferentes tasas de retrolavado.



Con base en ello, en las pruebas de campo para retrolavar los filtros se emplearon tres valores diferentes en donde se consideró la turbiedad como el parámetro que define la duración de la operación de retrolavado. Cuando la turbiedad se mantiene constante, indica que se ha alcanzado la máxima capacidad de limpieza del filtro. Los resultados de las pruebas de retrolavado se presentan en la tabla 4.6.

Tabla 4.6 Resultados de la operación de retrolavado a diferentes tasas.

CHS, en [m ³ /m ² -día]	865.36	1286	1520
CHS, en [m ³ /m ² -hora]	36.05	53.583	63.33
Tiempo, en minutos	<i>Turbiedad, en UNT</i>		
0	187.5	247	500
1	30	207	150
2	26	66.1	73
3	18	43.8	52.5
4	13	34.6	46.2
5	10.5	29.1	41.5
6	10	25.2	36
7	10	23.3	31
8	9.8	20.9	29.8
9	7.6	19.1	26.5
10	7.4	17.2	26.5
11	5.9	16.2	24.5
12	5.75	15.8	24
13	5.1	14.7	20.2
14	4.9	13.1	20.2
15	4.3	12.1	20.2
16	4.2	11.6	20
17	4.1	10.4	19.5
18	4	11	19.8
19	4	10.1	16.8
20	3.7	9.59	15.5
21	3.6	8.51	16.2
22	3.2	9.67	16.5
23	3.3		16
24	3		16
25	2.9		15.5
26	2.7		
27	2.8		
28	2.5		
29	2.5		
30	2.5		

A una tasa de $865\text{m}^3/(\text{m}^2\text{-día})$ [$36.05\text{ m}^3/(\text{m}^2\text{-hora})$], se obtiene una expansión de 7% en la arena y de 19% en la antracita ésta expansión no es suficiente para que los granos más grandes de la arena se froten unos con otros y se de el lavado del lecho, bajo estas condiciones solamente se están expandiendo los granos de diámetro más pequeños. Con base a las recomendaciones de la bibliografía, se sugiere una expansión del lecho de arena de 15% para que se de el lavado en los granos más grandes del lecho de arena, en ese sentido, de acuerdo con la figura 4.19, la tasa de retrolavado estaría alrededor de $1080\text{m}^3/(\text{m}^2\text{-día})$ [$45\text{ m}^3/(\text{m}^2\text{-hr})$], con ésta, tenemos una expansión del lecho de arena de 11% y de 29% en el lecho de antracita.

De la tabla 4.6 se observa que la turbiedad en el efluente del retrolavado después de los diez minutos la turbiedad disminuye muy poco, ésto sucede para las tres tasas de retrolavado, lo cual indica que para cualquier tasa de retrolavado, el valor mínimo de retrolavado se alcanza a los diez minutos. Esto hace suponer que el lecho de filtración conservará una capa de óxidos de manganeso lo cual favorece la retención de los iones de manganeso al iniciar el siguiente ciclo de filtración con lo cual no se afecta la eficiencia del filtro en la remoción del manganeso.

De la tabla 4.6 podría pensarse que con una $\text{CHS} = 865.0\text{ m}^3/(\text{m}^2\text{-día})$ es suficiente para lavar el lecho filtrante ya que se obtiene una turbiedad en el efluente mucho más baja que con las otras dos, sin embargo, en la experimentación se observó que la tasa de retrolavado que mejores resultados dió fue con $\text{CHS} = 1520\text{m}^3/(\text{m}^2\text{-día})$, la turbiedad que se alcanza en el efluente es más alta, pero en este caso sí se observa la expansión del lecho de arena.

CONCLUSIONES

El proceso estudiado para la remoción de manganeso (contaminante fuera de norma contenido en el agua de los pozos del ramal Ampliación Tláhuac – Neza), el cual consistió en una oxidación (dosificación en línea de NaOCl a punto de quiebre); mezclado en línea (mezclador estático) y filtración (retención de materia insoluble generada por la oxidación con NaOCl), presentó un alto grado de eficiencia (entre el 95 – 98%) en la remoción del manganeso, con ello se obtiene un tipo de agua que cumple con la normatividad establecida en materia de agua potable [NOM 127 SSAI].

Las condiciones para el tren de tratamiento a escala total del agua del ramal Ampliación Tláhuac – Neza son las siguientes:

Mezcla rápida en un mezclador estático tipo SMV del NaOCl = 5mg/l; filtro empacado con antracita – arena de diámetro efectivo $D_{10} = 0.93\text{mm}$ y 0.61 mm respectivamente, con profundidades de 40cm para la antracita y 20 cm para la arena; la CHS o tasa de operación es de $398.5\text{m}^3/\text{m}^2\text{-día}$ [$16.6\text{ m}^3/\text{m}^2\text{-hr}$], la tasa de retrolavado es de $1520\text{m}^3/(\text{m}^2\text{-día})$ [$63.3\text{m}^3/(\text{m}^2\text{ hora})$]; retrolavar a periodos de operación de 40 – 50 horas.

BIBLIOGRAFIA.

- Amirtharajah A. M. ASCE. "Optimum Backwashing of Sand Filters". Journal Environmental Engineering Division ASCE. PP. 917-932 Vol. 104. EE5 october 1978.
- Arboleda V. J. (1990) "Teoría y Práctica de la purificación del agua", editado por ACODAL, Colombia.
- A S T M (1987) "Manual de aguas para usos industriales " Vol.4. Ediciones Ciencia y Técnica, S. A. México.
- AWWA. (1973) " Water chlorination principles and practices " manual -20, printed in United States of America.
- AWWA. (1988) " Precoat filtration " manual -30, printed in United States of America.
- AWWA (1990) "Water Quality and Treatment" A Handbook of Community Water Supplies 4th Ed. Mc Graw - Hill, Inc. United States.
- Cleasby J. L. Stangl E. W. And Rice G.A. "Developments Backwashing of Granular Filters". Journal of the Environmental Engineering Division. PP. 713-727. Vol. 101 EE5 October 1975.
- Cleasby J. L., M. ASCE., and Lorence J. C., A. M. ASCE. "Effectiveness of Backwashing for Wastewater Filters". Journal of the Environmental Engineering Division. PP. 749- 765 . Vol. 101 EE4 August 1978.
- Cox C. R. (1965) "Operation and control of water treatment processes". World Health Organization and Organisation Mondiale de la Sante.

- Hem J. D (1963)“Chemical Equilibria and Rates of Manganese Oxidation”. Chemistry of Manganese in Natural Water. Geological Survey Water – Supply Paper 1667 – A. United States Government Printing Office, Washington.
- Hem J. D. (1963)“Deposition and Solution of Manganese Oxides” Chemistry of Manganese in Natural Water. Geological Survey Water – Supply Paper 1667 – B. United States Government Printing Office, Washington.
- Huang J. Y. C. M. ASCE “Filter Backwashing by Ejector”. Journal of the Environmental Engineering Division. ASCE. PP. 915- 925 . Vol. 101 EE5 October 1979.
- Johnson J. D. (1977). “Disinfection Water and Wastewater”. ANN ARBOR SCIENCE PUBLISHER INC. Second Printing. United States of America.
- Knocke W. R., Occiano S. and Hungate R. (1990) “ Removal of Soluble Manganese From_ Water by Oxide – Coated Filter Media”. Prepared for: AWWA Research Foundation.
- Knocke, W. R., Van Benschoten J. E. and Kearney M. (1990) “ Alternative Oxidants for the Removal of Soluble Iron and Manganese”._Prepared for: AWWA Research Foundation.
- Miller D. G. “Filtración con Antracita y Arena Caso práctico en el Reino Unido”. Nuevos Métodos de Tratamiento de Agua. Memorias del Simposio Realizado en Asunción Paraguay 14 – 18 de agosto 1972. Serie técnica 14.
- Montgomery J. M, (1985)“Water Treatmente Principles and Design”. Consulting Engineers, Inc. John Willes and Sons.
- Organización Mundial de la Salud (1995) “Guías para la calidad del agua potable Voll segunda edición”. Ginebra Suiza.

- Organización Panamericana de la Salud (1988) "Guías para la calidad del agua potable Vol. 3. E U A.
- Petkova V., Lliev M. M., Rivera M. L. (1999) "Estudios piloto para remoción de fierro y_manganeso en las fuentes de abastecimiento de México". Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XIV, Núm. 2. México.
- Reynolds T. M. (1996) "Unit Operations and Processes in Environmental Engineering" by PSW Publishing company. United States of America
- Rice R. P., and Netzer A. (1984)"Handbook Ozone Technology and Applications Vol.II (*Ozone for Drinking Water Treatment*)". Butterworth Publishers. United States of America.
- Robinson R. B. and Susan K. " manganese Treatmente by the Addition of_Sodium Silicate and Sodium Hipoclorite". Final project report prepared for the American Water Works Research Foundation under Contract 60 – 83.
- Robinson R. B., Reed G. D., Chirstodos D., Frazier B., and Chidambarih V. (1990). "Sequestering methods of iron anda manganeso treatment" AWWA Research Fundation and AWWA. United States.
- Rojas S. R. (1995)"El proceso de la Investigación Científica". Segunda reimpresión. Editorial trillas. México.
- Sawyer C. N. & McCarty P. L. (1978) "Chemistry for Environmental Engineering" Third Edition. McGraw Hill, Inc. United States of America.
- Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (1992) 18th edn, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment federation, Washington DC, USA.

- Stumm W. and Morgan J. J. (1981) "Aquatic Chemistry" An introduction Emphasizing Chemical Equilibria in natural waters. 2ª Ed. John Wiley & Sons New York.

- Sulzer Chemtech. "Mezcladores estáticos para el agua y el tratamiento de aguas". Boletín técnico. 23.83.06.60-VIII.95-50

- Sulzer Chemtech. "Tecnología de mezcla y reacción". Boletín técnico. 23.27.06.60-IX.94-50

- White G. C. (1972) "Water and Wastewater Chlorination". Van Nostrand Reinhold Co. New York. United States of America.

ANEXO A.

Base de datos de los históricos de calidad de los pozos del ramal Ampliación Tláhuac – Neza.

POZO AMPLIACIÓN TLÁUAC-NEZA 19

Fecha	Color	Cond.	pH	Sol. Tot.	Alc.	Cl	Dur. Tot.	F-	N-NH ₃	Sulf.	As	Cd	Ca	Zn
	20	1500	6.5-8.5	1000	400	250	500	1.50	0.5	400	0.05	0.005	30	5.0
24 /4 /87		490			208	35	149		0.8				25	
12 /5 /87	17.5	490	7.5	324	222	32	156	0.2	0.8	2.5	0.0009		23	
7 /11 /88	7.5	450	7.9	396	224	33	146	0.2	0.8	2.6	0.0004	0.0080	27	0.010
12 /6 /89	20.0	490	7.7	328	250	32	156	0.2	1.0	2.4			31	
Promedio	15.0	480	7.7	349	226	33	152	0.2	0.9	2.5	0.0007	0.0080	27	0.010
V.Max.	20.0	490	7.9	396	250	35	156	0.2	1.0	2.6	0.0009	0.0080	31	0.010
V.Min.	7.5	450	7.5	324	208	32	146	0.2	0.8	2.4	0.0004	0.0080	23	0.010
D.Est.	5.4	17	0.2	33	15	1	4	0.0	0.1	0.1	0.0003	0.0000	3	0.000

Fecha	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Pb	K	Se	Na	Mg	Col. Tot.	Col.Fec.
	2	0.05	0.30	0.15	0.001	0.025	100	0.01	200	125	2	0
24 /4 /87			0.38	0.260					51	24	0	0
12 /5 /87			0.45	0.260			7		50	24	0	0
7 /11 /88	0.009	0.008		0.267	0.0007	0.0500	5	0.0006	48	21	0	0
12 /6 /89			0.35	0.300			6		47	24		
Promedio	0.009	0.008	0.39	0.272	0.0007	0.0500	6	0.0006	49	23	0	0
V.Max.	0.009	0.008	0.45	0.300	0.0007	0.0500	7	0.0006	51	24	0	0
V.Min.	0.009	0.008	0.35	0.260	0.0007	0.0500	5	0.0006	47	21	0	0
D.Est.	0.000	0.000	0.04	0.017	0.0000	0.0000	1	0.0000	2	1	0	0

* NOTA: ESTOS PARAMETROS SE ENCUENTRAN FUERA DE NORMA DEBIDO A LOS LIMITES DE DETECCION DE LAS TECNICAS EMPLEADAS.

POZO AMPLIACIÓN TLÁHUAC-NEZA No. 20

Fecha	Color	Cond.	pH	Sol. Tot.	Alc.	Cl	Dur. Tot.	F	N-NH ₃	Sulf.	As	Cd	Ca	Zn
	20	1500	6.5-8.5	1000	400	250	500	1.5	0.5	400	0.05	0.005	30	5
27/2 /85	5.0	490	7.9	346	202	31	149	0.2	0.6	0.4	0.0039	0.0080	21	0.013
22 /10/85		450	7.8	354	203	38	158	0.2	0.1	2.9	0.0012	0.0080	23	0.029
2 /4 /86		470	8.2	300	206	38	142	0.3	0.6	9.0	0.0004	0.0080	23	0.005
24 /4 /87		490			206	37	143		0.9				25	
12 /5 /87	12.5	490	8.0	320	207	38	150	0.2	0.7	2.5	0.0008		24	
11 /5 /94	17.5	560	7.9	380	225	45	184	0.3	0.6	3.1	0.0012	0.0080	28	0.002
20 /9 /94	20.0	560	7.5	424	226	45	183	0.2	0.4	3.3	0.0010	0.0006	30	0.193
Promedio	13.8	501	7.9	354	211	39	158	0.2	0.5	3.5	0.0014	0.0065	25	0.048
V.Max.	20.0	560	8.2	424	226	45	184	0.3	0.9	9.0	0.0039	0.0080	30	0.193
V.Min.	5.0	450	7.5	300	202	31	142	0.2	0.1	0.4	0.0004	0.0006	21	0.002
D.Est.	5.7	39	0.2	40	9	5	17	0.0	0.2	2.6	0.0011	0.0030	3	0.073

Fecha	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Pb	K	Se	Na	Mg	COLT.	COLF.
	2	0.05	0.3	0.15	0.001	0.025	100	0.01	200	125	2	0
27/2 /85	0.008	0.008	0.26	0.15	0.0002	0.000	7	0.0006	47	24	0	0
22 /10/85	0.012	0.008	0.32	0.30	0.0002	0.000	7	0.0006	47	24	0	0
2 /4 /86	0.008	0.008	0.22	0.11	0.0002	0.050	7	0.0006	49	25	100	
24 /4 /87			0.27	0.23					53	25		
12 /5 /87			0.19	0.24			8		50	26		
11 /5 /94	0.008	0.008	0.22	0.32	0.0002	0.050	6	0.0006	50	27		
20 /9 /94	0.008	0.008	0.25	0.29	0.0002	0.050	2	0.0002	50	26		
Promedio	0.009	0.008	0.25	0.23	0.0002	0.030	6	0.0005	49	25	33	0
V.Max.	0.012	0.008	0.32	0.32	0.0002	0.050	8	0.0006	53	27	100	0
V.Min.	0.008	0.008	0.19	0.11	0.0002	0.000	2	0.0002	47	24	0	0
D.Est.	0.002	0.000	0.04	0.07	0.0000	0.024	2	0.0002	2	1	47	0

* NOTA: ESTOS PARAMETROS SE ENCUENTRAN FUERA DE NORMA DEBIDO A LOS LIMITES DE DETECCIÓN DE LAS TECNICAS EMPLEADAS.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

POZO AMPLIACIÓN TLÁHUAC-NEZA 20 BIS

Fecha	Color	Cond	pH	Sol. Tot.	Alc.	Cl ⁻	Dur. Tot.	F	N-NH ₃	Sulf.	As	Cd	Ca	Zn
D/M/A	20	1500	6.5-8.5	1000	400	250	500	1.50	0.5	400	0.05	0.005	30	5.0
2 /4 /86		510	8.2	334	222	43	166	0.2	1.00	14.0	0.0004	0.0080	28	0.002
12 /5 /87	10.0		8.0	358	222	43	172	0.2	0.67	3.1	0.0009		24	0.008
23 /4 /91	5.0	530	7.8	360	216	44	170	0.2	0.33	3.5			28	
14 /5 /91	5.0	540	8.0	408	225	44	168	0.2	0.95	4.4			29	
11/6 /91	7.5	500	7.8	352	214	43	160	0.1	0.50	0.4			20	
25 /9 /91	12.5	521	7.7	344	210	43	166	0.2	0.33	4.2			23	
30/10/91	2.5	470	8.9	400	220	42	166	0.2	0.39	4.7			27	
2 /1 /92	7.5	450	7.6		208	41	156							
12 /2 /92	5.0	460	7.7	304	215	38	160	0.3	0.28	4.6		0.0080	23	0.010
25 /2 /92	7.5	460	7.9	332	208	37	160	0.1	0.39	4.1	0.0004	0.0080	23	0.011
19 /8 /92	5.0	470	7.7	376	207	43	160	0.2	0.10	3.7	0.0004	0.0080	26	0.102
8 /2 /93	7.5	480	7.7	380	216	42	180	0.2	0.68	3.4			25	
28 /7 /93	12.5	604	7.7	364	222	48	183	0.2	0.49	3.7	0.0008	0.0080	29	0.002
22 /9 /93	12.5	582	7.5	368	218	46	187	0.1	0.52	3.1	0.0006	0.0080	26	0.038
11 /5 /94	17.5	560	7.9	380	225	45	184	0.3	0.58	3.1	0.0012	0.0080	28	0.002
Promedio	8.4	476	7.9	337	217	43	169	0.2	0.52	4.3	0.0007	0.0080	26	0.022
V. Max	17.5	604	8.9	408	225	48	187	0.3	1.00	14.0	0.0012	0.0080	29	0.102
V. Min	2.5	0	7.5	0	207	37	156	0.1	0.10	0.4	0.0004	0.0080	20	0.002
D. Est	4.0	135	0.3	94	6	3	10	0.0	0.24	2.9	0.0003	0.0000	3	0.032

Fecha	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Pb	K	Se	Na	Mg	Col. Tot.	Col. Fec.
	2	0.05	0.30	0.15	0.001	0.025	100	0.01	200	125	2	0
2 /4 /86	0.008	0.008	0.18	0.160	0.0002	0.0500	6	0.0006	49	27	1	
12 /5 /87			0.19	0.340			8		51	27		
23 /4 /91			0.36	0.304			6		49	25		
14 /5 /91			0.35	0.313			6		47	26		
11/6 /91			0.21	0.245			6		48	27		
25 /9 /91			0.35	0.294			5		51	26		
30 /10/91			0.49	0.240			6		46	24		
2 /1 /92			0.18	0.345							0	NEG
12 /2 /92	0.008	0.008	0.17	0.240	0.0002	0.0500	8	0.0006	50	24	0	NEG
25 /2 /92	0.009	0.008	0.20	0.313	0.0002	0.0500	7	0.0006	48	23	0	NEG
19 /8 /92	0.008	0.008	0.17	0.249	0.0002	0.0500	6	0.0006	47	23	0	NEG
8 /2 /93			0.26	0.269			6		48	24		
28 /7 /93	0.058	0.008	0.27	0.289	0.0002	0.0500	7	0.0006	54	24		
22 /9 /93	0.008	0.008	0.15	0.294	0.0002	0.0500	7	0.0006	49	24	26	
11 /5 /94	0.008	0.008	0.22	0.316	0.0002	0.0500	6	0.0006	50	27		
Promedio	0.015	0.008	0.25	0.281	0.0002	0.0500	6	0.0006	49	25	5	0
V. Max	0.058	0.008	0.49	0.345	0.0002	0.0500	8	0.0006	54	27	26	0
V. Min	0.008	0.008	0.15	0.160	0.0002	0.0500	5	0.0006	46	23	0	0
D. Est	0.017	0.000	0.09	0.046	0.0000	0.0000	1	0.0000	2	1	10	0

* NOTA: ESTOS PARAMETROS SE ENCUENTRAN FUERA DE NORMA DEBIDO A LOS LIMITES DE DETECCION DE LAS TECNICAS EMPLEADAS.

POZO AMPLIACIÓN TLÁHUAC-NEZA No. 21

Fecha	Color	Cond	pH	Sol. Tot.	Alc.	Cl	Dur. Tot.	F	N-NH ₃	Sulf.	As	Cd	Ca	Zn
	20	1500	6.5-8.5	1000	400	250	500	1.5	0.5	400	0.05	0.005	30	5
27/2/85	2.5	560	7.7	323	217	47	174	0.2	0.3	6.5	0.0039	0.0080	23	0.015
2/4/86		530	8.2	354	216	50	168	0.2	0.2	14.0	0.0005	0.0080	24	0.002
24/4/87		560			216	53	157		0.1				26	
12/5/87	12.5	760	8.0	488	294	83	238	0.2	0.1	3.1			26	
22/9/87	12.5	770	7.7	512	318	90	256	0.2	0.2	1.4			31	
13/1/88	10.0	540	8.0		228	58	165							
18/4/88	10.0	560	7.9	396	232	50	190	0.2	0.2	7.6	0.0004	0.0020	23	0.000
29/8/88	10.0	600	7.6	416	237	57	192	0.2	0.1	4.6	0.0010	0.0080	22	0.002
26/10/88	10.0	550	8.0	404	238	58	238	0.2	0.1	5.9	0.0053	0.0080	28	0.002
7/11/88	5.0	550	7.8	446	239	58	188	0.2	0.1	6.3	0.0014	0.0080	28	0.002
6/1/89	12.5	570	8.0	396	244	58	198	0.1	0.3	4.3	0.0015	0.0080	24	0.002
8/2/89	10.0	580	8.0	400	237	58	198	0.2	0.2	5.9			30	
19/5/89	10.0	520	7.6	320	238	41	158	0.2	0.6	2.2			26	
9/6/89	10.0	630	7.8	386	268	58	200	0.1	0.3	5.2			31	
2/11/89	10.0	600	8.0	436	246	68	208	0.2		4.3		0.0080	29	0.002
10/7/89	15.0	740	7.8	520	355	87	264	0.2	0.1	0.1			37	
3/11/89	17.5	840	7.9	608	342	96	280	0.3		0.1			37	
24/5/90	12.5	600	7.4	486	257	65	230	0.2	0.2	7.3	0.0013	0.0080	30	0.002
17/5/90	15.0	760	7.9	484	317	82	246	0.3	0.1	8.7			32	
28/9/90	12.5	720	7.7	480	295	86	252	0.2	0.7	6.6			31	
29/11/90	12.5	690	7.9	396	246	58	220	0.2	0.1	6.9			29	
28/1/91	7.5	630	7.7	424	266	68	216	0.1	0.1	6.6				
27/2/91	12.5	820	7.7	536	331	97	264	0.2	0.1	6.5			45	
13/5/91	12.5	900	7.8	444	351	100	280	0.1	0.2	3.4			38	
11/6/91	12.5	870	7.7	568	345	92	272	0.2	0.2	3.9			39	
25/9/91	7.5	684	7.7	448	262	66	224	0.2	0.2	5.3			32	
2/1/92	5.0	580	7.6						0.2					
3/2/92	7.5	600	7.7	416	270	60	228	0.1	0.4	8.1		0.0080	24	0.005
12/2/92	5.0	620	7.7	444	280	61	218	0.2	0.3	5.4		0.0080	30	0.005
3/3/92	5.0	620	7.6						0.8		0.0002	0.0080	36	0.006
21/4/92	2.5	640	7.7	420	265	70	228	0.2	0.1	6.0	0.0074	0.0080	32	0.009
17/6/92	10.0	635	7.7	448	263	66	206	0.1	0.2	5.9	0.0036	0.0080	29	0.002
30/10/92	15.0	680	7.7	484	284	68	234	0.1	0.6	3.1	0.0010	0.0080	32	0.003
9/11/92	15.0	490	7.7	380	217	40	170	0.1	0.5	3.1	0.0008	0.0080	26	0.039
31/3/93	15.0	860	7.8	564	355	96	298	0.2	0.3	3.7	0.0023	0.0080	40	0.002
2/6/93	12.5	1007	7.6	624	358	109	316	0.2	0.2	1.0	0.0015	0.0080	40	0.005
28/7/93	15.0	1074	7.7	624	380	109	326	0.2	0.1	4.0	0.0014	0.0080	40	0.002
22/9/93	15.0	1030	7.5	640	368	104	321	0.1	0.2	4.6	0.0015	0.0080	41	0.004
Promedio	10.7	683	7.8	462	280	71	228	0.2	0.2	5.0	0.0021	0.0077	31	0.006
V.Max.	17.5	1074	8.2	640	380	109	326	0.3	0.8	14.0	0.0074	0.0080	45	0.039
V.Min.	2.5	490	7.4	320	216	40	157	0.1	0.1	0.1	0.0002	0.0020	22	0.000
D.Est.	3.8	148	0.2	83	50	19	46	0.0	0.2	2.6	0.0019	0.0013	6	0.008

POZO AMPL. RAMAL TLAHUAC-NEZA No. 21 [CONTINUACION]

Fecha	Cu 2	Cr 0.05	Fe 0.3	Mn 0.15	Hg 0.001	Pb 0.025	K 100	Se 0.01	Na 200	Mg 125	Col. Tot. 2	Col. Fec. 0
27/2/85	0.008	0.008	0.18	0.40	0.0002	0.000	11	0.0006	53	29	0	0
2/4/86	0.008	0.008	0.11	0.22	0.0002	0.050	7	0.0006	51	30	0	0
24/4/87			0.13	0.40					55	31	0	0
12/5/87			0.19	0.41			11		81	41		
22/9/87				0.40			9		87	42		
13/1/88			0.37	0.44							0	0
18/4/88	0.008	0.008	0.13	0.37	0.0002	0.050	11	0.0006	52	30	0	0
29/8/88	0.008	0.008	0.13	0.47	0.0002	0.050	9	0.0006	62	31	1	
26/10/88	0.008	0.008		0.30	0.0002	0.050	7	0.0006	56	32	1	0
7/11/88	0.008	0.008		0.46	0.0002	0.050	6	0.0006	55	31	0	0
6/1/89	0.008	0.008	0.10	0.45	0.0002	0.050	7	0.0006	55	33	0	0
8/2/89			0.10	0.46			7		53	30		
19/5/89			0.32	0.35			6		47	26		
9/6/89			0.29	0.38			7		57	31		
2/11/89	0.008	0.008	0.10	0.41		0.050	7	0.0006	53	34	0	0
10/7/89			0.22	0.47			8		82	48		
3/11/89			0.16	0.51			9		85	47		
24/5/90	0.008	0.008		0.46	0.0002	0.050	8	0.0006	62	33	0	
17/5/90			0.23	0.56			8		80	40		
28/9/90			0.17	0.54			8		80	39		
29/11/90			0.11	0.43			7		52	35		
28/1/91												
27/2/91			0.17	0.58			8		82	42		
13/5/91			0.17	0.62			8		90	51		
11/6/91			0.14	0.53			9		82	47		
25/9/91			0.18	0.45			8		65	33		
2/1/92			0.11	0.41							0	NEG
3/2/92	0.008	0.008	0.10	0.42	0.0002	0.005	8	0.0006	62	38		
12/2/92	0.008	0.008	0.10	0.38	0.0002	0.050	10	0.0006	63	34	0	NEG
3/3/92	0.008	0.008	0.08	0.45	0.0002	0.050	10	0.0006	67	39	0	
21/4/92	0.008	0.008	0.12	0.40	0.0002	0.050	7	0.0006	62	34	0	NEG
17/6/92	0.008	0.008	0.14	0.36	0.0002	0.050	7	0.0006	61	34	0	NEG
30/10/92	0.008	0.008	0.05	0.39	0.0002	0.050	7	0.0006	72	34	0	NEG
9/11/92	0.008	0.008	0.05	0.32	0.0002	0.050	6	0.0006	48	23	0	NEG
31/3/93	0.008	0.008	0.18	0.55	0.0002	0.050	8	0.0006	90	48		
2/6/93	0.008	0.008	0.09	0.58	0.0002	0.050	9	0.0006	99	47		
28/7/93	0.010	0.008	0.13	0.73	0.0006	0.050	10		110	48		
22/9/93	0.008	0.008	0.11	0.62	0.0002	0.050	8	0.0006	98	48	2	pos.
Promedio	0.008	0.008	0.15	0.45	0.0002	0.045	8	0.0006	69	37	0	0
V.Max.	0.010	0.008	0.37	0.73	0.0006	0.050	11	0.0006	110	51	2	0
V.Min	0.008	0.008	0.05	0.22	0.0002	0.000	6	0.0006	47	23	0	0
D.Est.	0.000	0.000	0.07	0.10	0.0001	0.014	1	0.0000	17	7	1	0

*NOTA: ESTOS PARAMETROS SE ENCUENTRAN FUERA DE NORMA DEBIDO A LOS LIMITES DE DETECCION DE LAS TECNICAS EMPLEADAS.

POZO AMPLIACIÓN TLÁHUAC-NEZA No. 22

Fecha	Color	Cond	pH	Sol. Tot.	Alc.	Cl	Dur. Tot.	F	N-NH ₃	Sulf.	As	Cd	Ca	Zn
	20	1500	6.5-8.5	1000	400	250	500	1.5	0.5	400	0.05	0.005	30	5
24 /4 /87		750			290	81	227	0.1					34	
12 /5 /87	12.5	760	7.9	488	294	83	238	0.2	0.1	3.0	0.0040		26	
22 /9 /88	12.5	770	7.7	512	318	90	256	0.2	0.2	1.4	0.0051	0.0080	31	0.002
6 /1 /89	17.0	790	8.0	522	331	93	288	0.3	0.4	0.5	0.0040	0.0080	30	0.002
8 /2 /89	17.5	810	7.9	552	329	94	270	0.3	0.2	3.7			39	
10 /7 /89	15.0	740	7.8	520	355	87	264	0.2	0.1	0.1			37	
3 /11 /89	17.5	840	7.9	608	342	96	280	0.3		0.1		0.0080	37	0.002
17 /5 /90	15.0	760	7.9	484	317	82	246	0.3	0.1	8.7		0.0080	32	0.021
28 /9 /90	12.5	720	7.7	480	295	86	252	0.2	0.1	6.6	0.0010	0.0080	31	0.002
10 /1 /91	12.5	820	7.7	524	332	97	288	0.2	0.1	5.0		0.0080	39	0.006
27 /2 /91	12.5	820	7.7	536	331	97	264	0.2	0.1	6.5		0.0080	45	0.002
13 /5 /91	12.5	900	7.8	552	351	100	280	0.1	0.2	6.4		0.0080	38	0.004
11 /6 /91	12.5	870	7.7	568	345	92	272	0.2	0.2	3.9		0.0080	39	0.002
30 /10 /92	20.0	800	7.7	568	325	82	262	0.2	0.1	10.7	0.0024	0.0080	32	0.011
31 /3 /93	15.0	860	7.8	564	355	96	298	0.2	0.3	3.7	0.0023	0.0080	40	0.002
2 /6 /93	12.5	1007	7.6	624	358	109	316	0.2	0.2	1.0	0.0015	0.0080	40	0.005
28 /7 /93	15.0	1074	7.7	624	380	109	326	0.2	0.1	4.0	0.0014	0.0080	40	0.002
22 /9 /93	15.0	1030	7.5	640	368	104	321	0.1	0.2	4.6	0.0015	0.0080	41	0.004
11 /5 /94	25.0	1052	8.1	656	387	105	326	0.3	0.3	3.6	0.0015	0.0080	39	0.002
29 /7 /94	20.0	744	7.8	568	365	101	209	0.2	0.1	22.6	0.0004	0.0010	43	0.005
20 /9 /94	25.0	1074	7.6	652	396	125	323	0.2	0.1	3.4	0.0012	0.0006	46	0.006
17 /11 /94	25.0	1074	7.6	628	388	110	324	0.2	0.1	3.5	0.0021	0.0009	44	0.014
3/4 /96	7.5	1099	7.6	672	398	113	342	0.2	0.1	20.1	0.0012	0.0004	43	0.002
6 /6 /96	12.5	1047	7.7	700	399	109	324	0.1	0.2	12.9	0.0004	0.0018	44	0.002
6 /6 /96	17.5	1047	7.7	696	396	112	334	0.1	0.2	10.8	0.0004	0.0020	45	0.002
Prom.														
V.Max.	15.8	890	7.8	581	350	98	285	0.2	0.2	6.1	0.0019	0.0060	38	0.005
V. Min.	25.0	1099	8.1	700	399	125	342	0.3	0.4	22.6	0.0051	0.0080	46	0.021
D.Est.	7.5	720	7.5	480	290	81	209	0.1	0.1	0.1	0.0004	0.0004	26	0.002

POZO AMPLIACIÓN TLÁHUAC-NEZA No. 22 [CONTINUACION]

Fecha	Cu 2	Cr 0.05	Fe 0.3	Mn 0.15	Hg 0.001	Pb 0.025	K 100	Se 0.01	Na 200	Mg 125	Col. Tot. 2	Col. Fec. 0
24/4/87			0.17	0.39					85	44		
12/5/87	0.010		0.19	0.41			11		81	41		
22/9/88	0.008	0.008		0.40	0.0002	0.050	9	0.0006	87	43	0	0
6/1/89	0.008	0.008	0.10	0.52	0.0002	0.050	9	0.0006	83	46	0	0
8/2/89			0.13	0.50			9		84	45		
10/7/89			0.22	0.47			8		82	48		
3/11/89	0.008	0.008	0.16	0.51		0.050	9	0.0006	85	47	0	NEG.
17/5/90	0.024	0.008	0.23	0.56	0.0002	0.050	8	0.0006	80	40	0	
28/9/90	0.008	0.008	0.17	0.54	0.0002	0.050	8	0.0006	80	39	0	NEG.
10/1/91	0.008	0.008	0.20	0.61	0.0002	0.050	9	0.0006	90	44	1	NEG.
27/2/91	0.008	0.008	0.17	0.58	0.0002	0.050	8	0.0006	82	42	0	NEG.
13/5/91	0.008	0.008	0.17	0.62	0.0002	0.050	8	0.0006	90	51	0	NEG.
11/6/91	0.008	0.008	0.14	0.53	0.0002	0.050	9	0.0006	82	47	0	NEG.
30/10/92	0.008	0.008	0.21	0.37	0.0002	0.050	7	0.0006	76	45	0	NEG.
31/3/93	0.008	0.008	0.18	0.55	0.0002	0.050	8	0.0006	90	48		
2/6/93	0.008	0.008	0.09	0.58	0.0002	0.050	9	0.0006	99	47		
28/7/93	0.010	0.008	0.01	0.73	0.0006	0.050	10		110	48		
22/9/93	0.008	0.008	0.11	0.62	0.0002	0.050	8	0.0006	98	48	2	pos.
11/5/94	0.011	0.008	0.05	0.62	0.0002	0.050	10	0.0006	102	53		
29/7/94	0.008	0.008	0.05	0.48	0.0002	0.050	9	0.0006	96	50		
20/9/94	0.008	0.008	0.05	0.64	0.0002	0.050	9	0.0002	102	54		
17/11/94	0.008	0.008	0.05	0.62	0.0002	0.050	11	0.0006	100	52		
3/4/96	0.008	0.008	0.05	0.78	0.0002	0.050	10	0.0006	113	57		
6/6/96	0.008	0.008	0.05	0.75	0.0002	0.050	9	0.0006	110	52		
6/6/96	0.008	0.008	0.05	0.66	0.0002	0.050	9	0.0006	104	54		
Prom.	0.009	0.008	0.12	0.56	0.0002	0.050	9	0.0006	92	47	0	0
V. Max.	0.024	0.008	0.23	0.78	0.0006	0.050	11	0.0006	113	57	2	0
V. Min.	0.008	0.008	0.01	0.37	0.0002	0.050	7	0.0002	76	39	0	0
D. Est.	0.003	0.008	0.07	0.11	0.0001	0.000	1	0.0001	11	5	1	0

*NOTA: ESTOS PARAMETROS SE ENCUENTRAN FUERA DE NORMA DEBIDO A LOS LIMITES DE DETECCION DE LAS TECNICAS EMPLEADAS.

POZO AMPLIACIÓN TLÁHUAC-NEZA No. 23

Fecha	Color	Cond	pH	Sol. Tot.	Alc.	Cl	Dur. Tot.	F	N-NH ₃	Sulf.	As	Cd	Ca	Zn
	20	1500	6.5-8.5	1000	400	250	500	2	0.5	400	00.05	00.005	30	5
20 /5 /90	10.0	600	7.8	360	248	58	190	0.2	0.1	21.9		0.0080	23	0.024
30 /9 /90	12.5	600	7.8	420	241	67	178	0.2	0.1	9.2	0.0053	0.0080	24	0.014
10 /1 /90	5.0	620	7.6	372	243	65	94	0.3	0.1	8.3		0.0080	25	0.029
30 /2 /90	12.5	640	7.8	436	260	74	188	0.3	0.1	8.6		0.0080	22	0.017
10 /6 /90	12.5	650	7.8	420	262	64	194	0.1	0.2	6.5		0.0080	24	0.020
30 /9 /90	7.5	695	7.7	432	255	67	196	0.2	0.1	7.4			27	
30 /10 /90	5.0	650	7.7	440	271	70	226	0.2	0.1	8.0			26	
2 /1 /90	5.0	540	7.7						0.1					
3 /2 /90	10.0	680	7.8	460	289	70	220	0.2	0.3	11.2		0.0080	29	0.002
10 /2 /90	10.0	740	7.6	512	315	76	240	0.3	0.2	9.9		0.0080	28	0.006
3 /3 /90	7.5	740	7.6						0.3		0.0005	0.0080	36	0.005
20 /4 /90	7.5	770	7.6	592	313	86	260	0.2	0.1	12.0	0.0087	0.0080	34	0.012
30 /10 /90	15.0	700	7.7	500	283	69	218	0.1	0.1	11.5	0.0076	0.0080	31	0.310
10 /2 /90	10.0	740	7.6	512	315	76	240	0.3	0.2	9.9		0.0080	28	0.006
3 /3 /90	7.5	740	7.6						0.3		0.0005	0.0080	36	0.005
20 /4 /90	7.5	770	7.6	592	313	86	260	0.2	0.1	12.0	0.0087	0.0080	34	0.012
30 /10 /90	15.0	700	7.7	500	283	69	218	0.1	0.1	11.5	0.0076	0.0080	31	0.310
Promedio	9.4	681	7.7	468	278	71	209	0.2	0.1	10.6	0.0056	0.0080	29	0.055
V. Max.	15.0	770	7.8	592	315	86	260	0.3	0.3	21.9	0.0087	0.0080	36	0.310
V. Min.	5.0	540	7.6	360	241	58	94	0.1	0.1	6.5	0.0005	0.0080	22	0.002
D. Est	3.2	65	0.1	68	27	7	41	0.1	0.1	3.6	0.0034	0.0000	4	0.104

Fecha	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Pb	K	Se	Na	Mg	Col. Tot.	Col. Fec.
	2	0.05	0.30	0.15	0.001	0.025	100	0.01	200	130	2	0
20 /5 /90	0.021	0.008	0.18	0.64	0.0002	0.050	7	0.0006	66	38	0	
30 /9 /90	0.008	0.008	0.22	0.69	0.0002	0.050	7	0.0006	68	29	0	NEG.
10 /1 /90	0.018	0.008	0.22	0.46	0.0002	0.050	8	0.0006	73	29	0	NEG.
30 /2 /90	0.008	0.008	0.16	0.71	0.0005	0.050	9	0.0006	73	35	0	NEG.
10 /6 /90	0.008	0.008	0.12	0.68	0.0002	0.050	7	0.0006	68	34	0	
30 /9 /90			0.13	0.69			8		71	32		
30 /10 /90			0.18	0.88			9		82	32		
2 /1 /90			0.08	0.63							0	NEG
3 /2 /90	0.008	0.008	0.11	0.76	0.0002	0.050	9	0.0006	76	35		
10 /2 /90	0.008	0.008	0.09	0.91	0.0002	0.050	11	0.0006	81	41	0	NEG
3 /3 /90	0.008	0.008	0.11	0.91	0.0002	0.050	9	0.0006	88	39	0	
20 /4 /90	0.080	0.008	0.21	1.08	0.0002	0.050	8	0.0006	84	40	0	NEG
30 /10 /90	0.008	0.008	0.12	0.91	0.0002	0.050	8	0.0006	70	37	0	NEG
10 /2 /90	0.008	0.008	0.11	0.91	0.0002	0.050	11	0.0006	81	41	0	NEG
3 /3 /90	0.008	0.008	0.11	0.91	0.0002	0.050	9	0.0006	88	39	0	
20 /4 /90	0.080	0.008	0.21	1.08	0.0002	0.050	8	0.0006	84	40	0	NEG
30 /10 /90	0.008	0.008	0.12	0.91	0.0002	0.050	8	0.0006	70	37	0	NEG
Promedio	0.020	0.008	0.14	0.81	0.0002	0.050	9	0.0006	76	36	0	0
V. Max.	0.080	0.008	0.22	1.08	0.0005	0.050	11	0.0006	88	41	0	0
V. Min.	0.008	0.008	0.08	0.46	0.0002	0.050	7	0.0006	66	29	0	0
D. Est	0.025	0.000	0.05	0.16	0.0001	0.000	1	0.0000	7	4	0	0

* NOTA: ESTOS PARAMETROS SE ENCUENTRAN FUERA DE NORMA DEBIDO A LOS LIMITES DE DETECCION DE LAS TECNICAS EMPLEADAS.

POZO AMPLIACIÓN TLÁHUAC-NEZA No. 24

Fecha	Color	Cond	pH	Sol. Tot.	Alc.	Cl	Dur. Tot.	F	N-NH ₃	Sulf.	As	Cd	Ca	Zn
D/M/A	20	1500	6.5-8.5	1000	400	250	500	1.5	0.5	400	0.05	0.005	30	5
21 /10/85		495	7.8	370	219	45	172	0.2	0.2	3.7	0.0005	0.0080	25	0.002
24 /4/87		760			284	79	215		0.4				32	
12 /5/87	12.5	660	7.8	480	280	70	216	0.3	0.5	20.8	0.0008		26	0.013
11 /6/89	25.0	1050	7.7	688	450	122	328	0.3	0.1	6.1			48	
18 /12/89	15.0	1050	7.5	700	416	121	344	0.2	0.2	4.9	0.0004	0.0080	46	0.004
25 /9/91	25.0	977	7.8	612	370	104	284	0.3	0.1	6.2			34	
29 /10/91	7.5	970	7.7	668	400	114	320	0.2	0.1	8.2			44	
12 /2/92	10.0	920	7.6	648	390	105	296	0.3	0.1	10.1		0.0080	34	0.003
30 /7/92	10.0	920	7.5	660	382	110	308	0.2	0.2	13.2			42	
Promedio	15.0	867	7.7	603	355	97	276	0.2	0.2	9.1	0.0006	0.0080	37	0.006
V.Max.	25.0	1050	7.8	700	450	122	344	0.3	0.5	20.8	0.0008	0.0080	48	0.013
V.Min.	7.5	495	7.5	370	219	45	172	0.2	0.1	3.7	0.0004	0.0080	25	0.002
D.Est.	6.7	179		109	72	25	57	0.0	0.1	5.2	0.0002	0.0000	8	0.004

Fecha	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Pb	K	Se	Na	Mg	Col. Tot.	Col. Fec.
	2	0.05	0.3	0.15	0.001	0.025	100	0.01	200	125	2	0
21 /10/85	0.008	0.008	0.24	0.33	0.0002	0.000	5	0.000 6	48	26	0	0
24 /4/87				0.37					97	40		
12 /5/87	0.008			0.37			14		80	37		
11 /6/89			0.04	0.15			11		114	53		
18 /12/89	0.008	0.008	0.15	0.78	0.0002	0.050	11	0.000 6	116	52	0	NEG.
25 /9/91			0.05	0.67			11		112	46		
29 /10/91			0.07	0.87			13		116	48		
12 /2/92	0.009	0.008	0.05	0.68	0.0002	0.050	13	0.000 6	115	50	0	NEG
30 /7/92			0.09	0.77			10		107	47		
Promedio	0.008	0.008	0.10	0.55	0.0002	0.033	11	0.000 6	100	44	0	0
V.Max.	0.009	0.008	0.24	0.87	0.0002	0.050	14	0.000 6	116	53	0	0
V.Min.	0.008	0.008	0.04	0.15	0.0002	0.000	5	0.000 6	48	26	0	0
D.Est.	0.000	0.000	0.07	0.24	0.0000	0.024	3	0.000	22	8	0	0

*NOTA: ESTOS PARAMETROS SE ENCUENTRAN FUERA DE NORMA DEBIDO A LOS LIMITES DE DETECCIÓN DE LAS TECNICAS EMPLEADAS.

POZO AMPLIACIÓN. TLÁHUAC-NEZA No. 25

Fecha	Color	Cond	pH	Sol. Tot.	Alc.	Cl ⁻	Dur. Tot.	F	N-NH ₃	Sulf.	As	Cd	Ca	Zn
D/M/A	20	1500	6.5-8.5	1000	400	250	500	1.50	0.5	400	0.05	0.005	30	5.0
20 /10/85		765	7.8	398	211	52		0.3	0.1	37.6	0.0048	0.0080	25	0.025
12 /2 /92	10.0	900	7.8	632	382	100	282	0.2	0.1	9.8		0.0080	36	0.008
21/4 /92	12.5	860	7.7	192	346	99	272	0.2	0.1	13.8	0.0071	0.0080	39	0.008
29 /5 /92	12.5	860	7.8	624	353	98	268	0.4	0.1	12.7	0.0037	0.0080	35	0.002
17 /6 /92	10.0	865	7.8	608	356	102	272	0.1	0.1	16.7	0.0028	0.0080	33	0.002
30 /7 /92	7.5	860	8.0	624	350	99	276	0.2	0.2	14.8			37	
31 /3 /93	15.0	830	7.6	592	348	97	280	0.3	0.4	19.2	0.0058	0.0080	37	0.002
28 /7 /93	12.5	1063	7.5	708	377	106	297	0.1	0.2	26.8	0.0075	0.0080	37	0.002
22 /9 /93	17.5	1063	7.5	680	395	107	308	0.1	0.5	23.4	0.0094	0.0080	40	0.007
11 /5 /94	25.0	1086	8.0	692	398	100	312	0.3	0.5	25.5	0.0032	0.0080	43	0.640
29 /7 /94	25.0	783	7.8	496	302	80	231	0.2	0.1	5.6	0.0004	0.0010	35	0.005
20 /9 /94	25.0	1074	7.5	636	398	120	299	0.2	0.1	24.1	0.0220	0.0002	48	0.005
Promedio	15.7	917	7.7	574	351	97	282	0.2	0.2	19.2	0.0067	0.0067	37	0.064
V.Max.	25.0	1086	8.0	708	398	120	312	0.4	0.5	37.6	0.0220	0.0080	48	0.640
V.Min.	7.5	765	7.5	192	211	52	231	0.1	0.1	5.6	0.0004	0.0002	25	0.002
D.Est.	6.2	114	0.2	141	50	16	22	0.1	0.2	8.4	0.0057	0.0029	5	0.182

Fecha	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Pb	K	Se	Na	Mg	COL.Tot.	COL.Fec.
	2	0.05	0.30	0.15	0.001	0.025	100	0.01	200	125	2	0
20 /10/85	0.008	0.008	0.12	0.235	0.0002	0.0001	7	0.0006	62	30	0	0
12 /2 /92	0.008	0.008	0.13	0.629	0.0002	0.0500	14	0.0006	113	46	0	NEG
21/4 /92	0.008	0.008	0.20	0.62	0.0002	0.0500	10	0.0006	100	43	10	NEG
29 /5 /92	0.013	0.038	0.19	0.608	0.0002	0.0500	10	0.0006	102	41	1	NEG
17 /6 /92	0.008	0.008	0.17	0.500	0.0002	0.0080	10	0.0006	96	46	3	NEG
30 /7 /92			0.17	0.621			10		102	41		
31 /3 /93	0.008	0.008	0.16	0.580	0.0002	0.0500	10	0.0006	100	43	1	1
28 /7 /93	0.016	0.008	0.17	0.814	0.0002	0.0500	12	0.0006	126	44		
22 /9 /93	0.008	0.008	0.18	0.828	0.0002	0.0500	18	0.0006	117	44		
11 /5 /94	0.019	0.008	0.24	0.967	0.0002	0.0500	12	0.0006	116	48		
29 /7 /94	0.008	0.008	0.21	0.907	0.0002	0.0500	8		93	36		
20 /9 /94	0.008	0.008	0.27	1.010	0.0002	0.0100	11	0.0002	115	48		
Promedio	0.010	0.011	0.18	0.647	0.0002	0.0380	11	0.0006	103	43	3	0
V.Max.	0.019	0.038	0.27	1.010	0.0002	0.0500	18	0.0006	126	48	10	1
V.Min.	0.008	0.008	0.12	0.062	0.0002	0.0001	7	0.0002	62	30	0	0
D.Est.	0.004	0.009	0.04	0.274	0.0000	0.0197	3	0.0001	16	5	4	0

*NOTA: ESTOS PARAMETROS SE ENCUENTRAN FUERA DE NORMA DEBIDO A LOS LIMITES DE DETECCION DE LAS TECNICAS EMPLEADAS.

ANEXO B

Base de datos de las pruebas de fluidización del lecho

FLUIDIZACION DEL LECHO. PRUEBA 001

CAUDAL = 30 lpm;

CHS = 701.64 m³/(m²-día)

Tiempo	Niveles piezométricos										h ₁ - h ₁₀
Minutos	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₉	h ₁₀	Δ h _{Total}
0	93.2	93.2	93.2	93.2	93.2	93.2	93.2	93.2	93.2	93.2	0
1	161.2	156.4	154.6	143.8	135.4	132.4	131.1	129.3	126.9	126.2	35
2	161.3	156.4	154.7	146.9	138	133.6	131.2	129.3	126.9	126.2	35.1
3	161.3	156.4	154.7	147	138.1	133.6	131.1	129.3	126.9	126.2	35.1
4	161.3	156.4	154.3	147	138.1	133.6	131.2	129.3	126.9	126.2	35.1
5	161.3	156.4	154.7	147	138.1	133.6	131.1	129.3	126.9	126.2	35.1
6	161.3	156.4	154.6	147	138.1	133.4	131.1	129.3	126.9	126.2	35.1
7	161.3	156.4	154.6	147	138.1	133.6	131.1	129.3	126.9	126.2	35.1
8	161.3	156.4	154.6	147	138.1	133.6	131.1	129.3	126.9	126.2	35.1
9	161.3	156.5	154.6	147	138.1	133.6	131.1	129.3	126.9	126.2	35.1
10	161.3	156.4	154.6	147	138.1	133.7	131.1	129.3	126.9	126.2	35.1

Arena = 20 cm

Antracita = 40cm

Expansión:

5 cm de Antracita

0 cm de arena

h₂ h₁₀ = 30.2

FLUIDIZACION DEL LECHO; PRUEBA 002

CAUDAL = 35 lpm

CHS = 818.58 m³/(m²-día)

Tiempo	Niveles piezométricos										h ₁ - h ₁₀
Minutos	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₉	h ₁₀	Δ h _{Total}
0	93.2	93.2	93.2	93.2	93.2	93.2	93.2	93.2	93.2	93.2	0
1	163.9	157.4	155.4	144.5	135.6	132.8	131.5	129.9	127.6	126.5	37.4
2	164	157.5	155.5	147	138.1	134.1	131.7	130	127.5	126.5	37.5
3	164	157.5	155.5	147.1	138.7	134.1	131.7	130	127.6	126.6	37.4
4	164	157.5	155.5	147.2	138.7	134.1	131.7	130	127.6	126.6	37.4
5	164	157.5	155.5	147.3	138.7	134.1	131.7	130	127.7	126.6	37.4
6	164	157.5	155.5	147.3	138.7	134.1	131.7	130	127.7	126.6	37.4
7	164	157.5	155.5	147.2	138.7	134.1	131.7	130	127.7	126.6	37.4
8	164	157.5	155.5	147.2	138.7	134.1	131.7	130	127.7	126.6	37.4
9	164	157.5	155.5	147.2	138.7	134.1	131.7	130	127.7	126.6	37.4
10	164	157.5	155.5	147.2	138.7	134.1	131.7	130	127.7	126.6	37.4

Arena = 20 cm

Antracita = 40cm

Expansión

Antracita = 9.30 cm

Arena = 2.30 cm

FLUIDIZACION DEL LECHO; PRUEBA 003

CAUDAL = 40 lpm

CHS = 935.52 m³/(m²-día)

Tiempo	Niveles piezométricos										$h_1 - h_{10}$
Minutos	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	h_9	h_{10}	Δh_{Total}
0	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	0
1	166.4	158.4	156	146.2	137.6	134.3	132.2	130.4	128.1	126.8	39.6
2	166.4	158.4	156	147.5	138.8	134.6	132.3	130.3	128.1	126.8	39.6
3	166.4	158.4	156	147.5	138.8	134.6	132.2	130.3	128.1	126.8	39.6
4	166.4	158.4	156	147.5	138.8	134.6	132.2	130.3	128.1	126.8	39.6
5	166.4	158.4	156	147.5	138.8	134.6	132.3	130.3	128.1	126.8	39.6
6	166.4	158.4	156	147.5	138.8	134.6	132.3	130.3	128.1	126.8	39.6
7	166.4	158.4	156	147.5	138.8	134.6	132.3	130.3	128.1	126.8	39.6
8	166.4	158.4	156	147.5	138.8	134.6	132.3	130.3	128.1	126.8	39.6
9	166.4	158.4	156	147.5	138.8	134.6	132.3	130.3	128.1	126.8	39.6
10	166.4	158.4	156	147.5	138.8	134.6	132.3	130.3	128.1	126.8	39.6

Arena = 20 cm

Antracita = 40cm

Expansión

Antracita = 7.8 cm

Arena = 1.90 cm

 $h_2 - h_{10} = 31.6$ cm**FLUIDIZACION DEL LECHO. PRUEBA 004**

CAUDAL = 45 lpm

CHS = 1052.5 m³/(m²-día)

Tiempo	Niveles piezométricos										$h_1 - h_{10}$
Minutos	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	h_9	h_{10}	Δh_{Total}
0	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	0
1	169.2	159.2	156.3	147.8	137.5	134.4	132.6	130.8	128.4	126.9	42.3
2	169.2	159.2	156.4	147.9	139.6	135.1	132.6	130.6	128.4	126.9	42.3
3	169.2	159.2	156.4	148	139.6	135.1	132.6	130.6	128.4	126.9	42.3
4	169.3	159.3	156.4	146	139.6	135.1	132.6	130.6	128.4	126.9	42.4
5	169.4	159.3	156.4	148	139.6	135.1	132.6	130.6	128.4	126.9	42.5
6	169.4	159.3	156.4	148	139.6	135.1	132.6	130.6	128.4	126.9	42.5
7	169.4	159.3	156.4	148	139.6	135.1	132.6	130.6	128.4	126.9	42.5
8	169.4	159.3	156.4	148	139.6	135.1	132.6	130.6	128.4	126.9	42.5
9	169.4	159.3	156.4	148	139.6	135.1	132.6	130.6	128.4	126.9	42.5
10	169.4	159.3	156.4	148	139.6	135.1	132.6	130.6	128.4	126.9	42.5

Arena = 20 cm

Antracita = 40cm

Expansión

Antracita = 9.3 cm

Arena = 2.30 cm

 $h_2 - h_{10} = 32.4$ cm

FLUIDIZACION DEL LECHO; PRUEBA 005

CAUDAL = 50 lpm

CHS = 1169.4 m³/(m²-día)

Tiempo	Niveles piezométricos										$h_1 - h_{10}$
Minutos	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	h_9	h_{10}	Δh_{Total}
0	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	0
1	172.2	160.2	156.9	146.1	138.7	134.6	132.7	131	128.9	127	45.2
2	172.2	160.3	157	148.2	140.1	135.2	132.8	131	128.9	127	45.2
3	172.4	160.2	157	148.2	140.2	135.2	132.8	130.9	128.9	127	45.4
4	172.4	160.2	157	148.2	140.2	135.2	132.7	130.9	128.9	127	45.4
5	172.4	160	157	148.4	140.2	135.2	132.7	130.9	128.9	127	45.4
6	172.4	160	157	148.4	140.2	135.2	132.8	130.9	128.9	127	45.4
7	172.4	160.2	157	148.4	140.2	135.2	132.7	130.9	128.9	127	45.4
8	172.4	160.2	157	148.4	140.2	135.2	132.7	130.9	128.9	127	45.4
9	172.4	160.2	157	148.4	140.2	135.2	132.7	130.9	128.9	127	45.4
10	172.4	160.2	157	148.4	140.2	135.2	132.7	130.9	128.9	127	45.4

Arena = 20 cm

Antracita = 40cm

Expansión

Antracita = 13.8 cm

Arena = 2.20 cm

$h_2 - h_{10} = 33.2$ cm

FLUIDIZACION DEL LECHO; PRUEBA 006

CAUDAL = 55 lpm

CHS = 1286.34 m³/(m²-día)

Tiempo	Niveles piezométricos										$h_1 - h_{10}$
Minutos	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	h_9	h_{10}	Δh_{Total}
0	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	0
1	175.2	161	157.3	144.8	137.2	133.6	132.7	131.2	129.4	127.4	47.8
2	175.5	161.1	157.4	148.4	140.4	135.4	133	131.3	129.3	127.4	48.1
3	175.4	161.1	157.4	148.6	140.4	135.3	133	131.4	129.4	127.6	47.8
4	175.4	161.1	157.4	148.6	140.4	135.3	133	131.4	129.4	127.6	47.8
5	175.4	161.1	157.4	148.6	140.4	135.3	133	131.4	129.4	127.6	47.8
6	175.4	161.1	157.4	148.6	140.4	135.3	133	131.4	129.4	127.6	47.8
7	175.4	161.1	157.4	148.6	140.4	135.4	133	131.4	129.4	127.6	47.8
8	175.4	161.1	157.4	148.6	140.4	135.4	133	131.4	129.4	127.6	47.8
9	175.4	161.1	157.4	148.6	140.4	135.4	133	131.4	129.4	127.6	47.8
10	175.4	161.1	157.4	148.6	140.4	135.4	133	131.4	129.4	127.6	47.8

Arena = 20 cm

Antracita = 40cm

Expansión

Antracita = 17.0 cm

Arena = 2.20 cm

$h_2 - h_{10} = 33.5$ cm

FLUIDIZACION DEL LECHO; PRUEBA 007

CAUDAL = 60 lpm

CHS = 1403.28 m³/(m²-día)

Tiempo	Niveles piezométricos										$h_1 - h_{10}$
Minutos	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	h_9	h_{10}	Δh_{Total}
0	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	0
1	177.7	161.8	157.4	146	138.4	134.7	133	131.7	129.8	127.7	50
2	178.5	161.8	157.4	148.7	140.7	135.4	133.2	131.7	129.7	127.8	50.7
3	178.5	161.7	157.4	148.8	140.7	135.5	133.2	131.7	129.8	127.8	50.7
4	179.3	161.7	157.4	148.8	140.7	135.5	133.2	131.7	129.8	127.8	51.5
5	180.5	161.7	157.4	148.8	140.7	135.5	133.2	131.7	129.8	127.8	52.7
6	180.5	161.7	157.4	148.8	140.7	135.5	133.2	131.7	129.8	127.8	52.7
7	180.5	161.7	157.4	148.8	140.7	135.5	133.2	131.7	129.8	127.8	52.7
8	180.5	161.7	157.4	148.8	140.7	135.5	133.2	131.7	129.8	127.8	52.7
9	180.5	161.7	157.4	148.8	140.7	135.5	133.2	131.7	129.7	127.8	52.7
10	180.4	161.7	157.4	148.8	140.7	135.5	133.2	131.7	129.7	127.8	52.6

Arena = 20 cm

Antracita = 40cm

Expansión

Antracita = 19.2 cm

Arena = 2.20 cm

 $h_2 - h_{10} = 33.9$ cm**FLUIDIZACION DEL LECHO; PRUEBA 008**

CAUDAL = 65 lpm

CHS = 1520.2 m³/(m²-día)

Tiempo	Niveles piezométricos										$h_1 - h_{10}$
Minutos	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	h_9	h_{10}	Δh_{Total}
0	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	92.4	0
1	182.5	162.5	157.8	145	137.1	133.9	133	132	130.2	128.5	54
2	183	162.5	157.8	149	141.1	135.8	133.6	132.1	130.2	128.5	54.5
3	183.5	162.5	157.8	149	141.1	135.8	133.5	132.1	130.2	128.5	55
4	184	162.5	157.8	149	141.2	135.8	133.5	132.1	130.2	128.5	55.5
5	184.5	162.5	157.8	149	141.2	135.8	133.5	132.1	130.2	128.5	56
6	184.5	162.5	157.8	149	141.2	135.8	133.5	132.1	130.2	128.5	56
7	184.5	162.5	157.8	149	141.2	135.8	133.5	132.1	130.2	128.5	56
8	184.5	162.5	157.8	149	141.2	135.8	133.5	132.1	130.2	128.5	56
9	184.5	162.2	157.8	149	141.2	135.8	133.5	132.1	130.2	128.5	56
10	184.5	162.2	157.8	149	141.2	135.8	133.5	132.1	130.2	128.5	56

Arena = 20 cm

Antracita = 40cm

Expansión

Antracita = 22.5 cm

Arena = 3.0 cm

 $h_2 - h_{10} = 34.2$ cm

ANEXO C

Base de datos de las pruebas de filtración y retrolavado

Lecho: gravilla = 20 cm
 Arena = 40 cm
 Antracita = 20cm

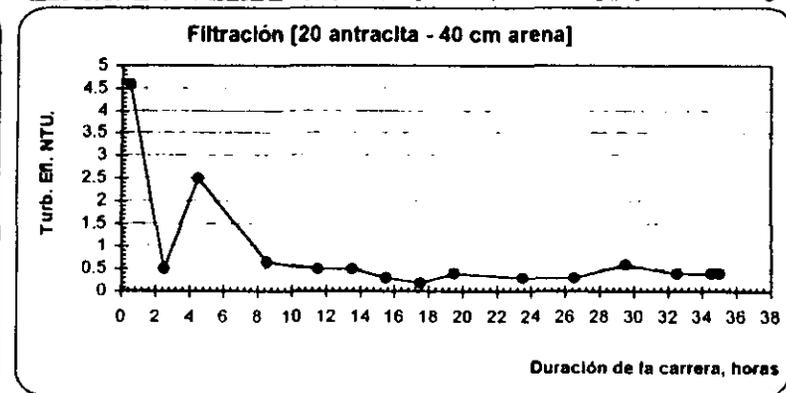
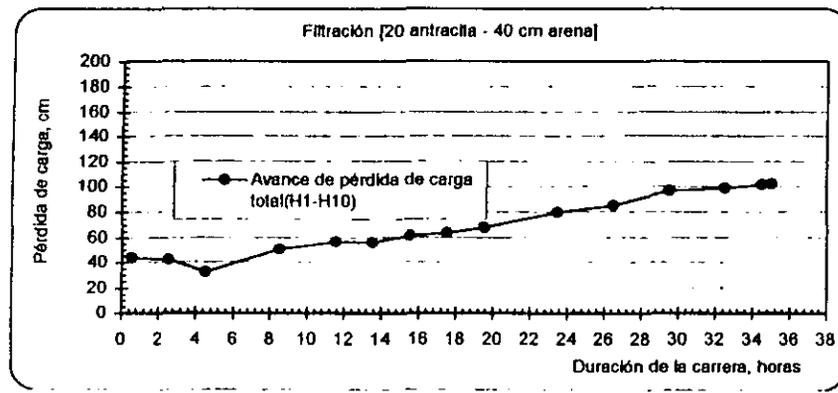
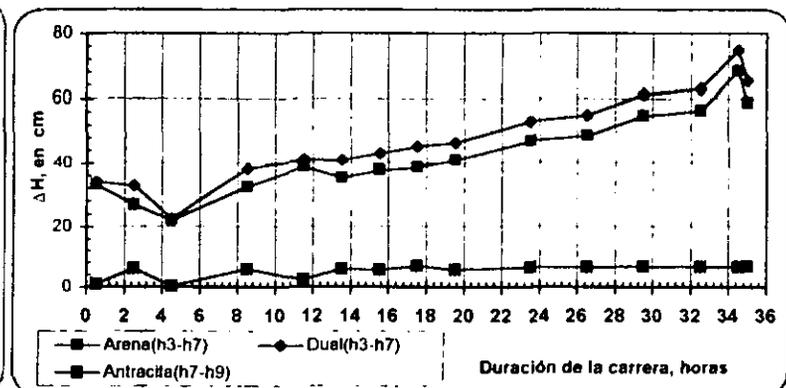
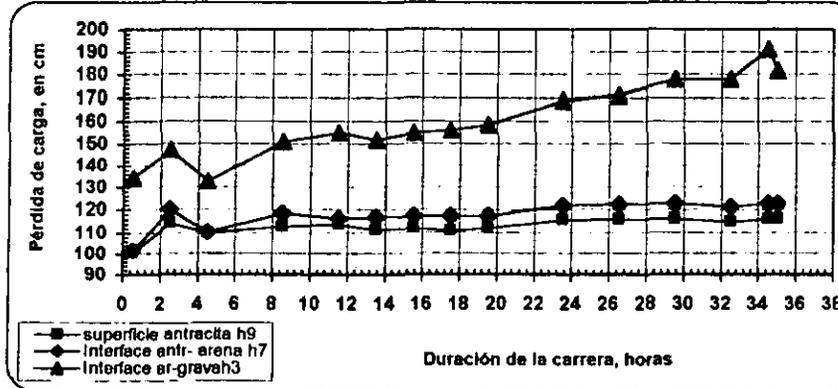
BASE DE DATOS DE LA EXPERIMENTACION

OPERACION UNITARIA: FILTRACION.

ORDEN DE TRABAJO 001

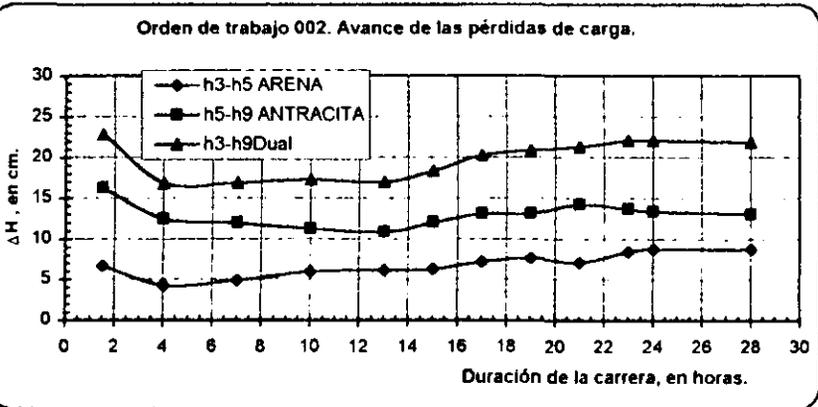
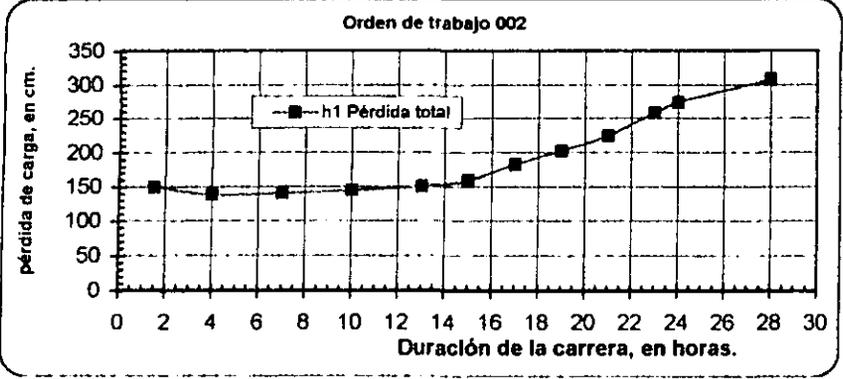
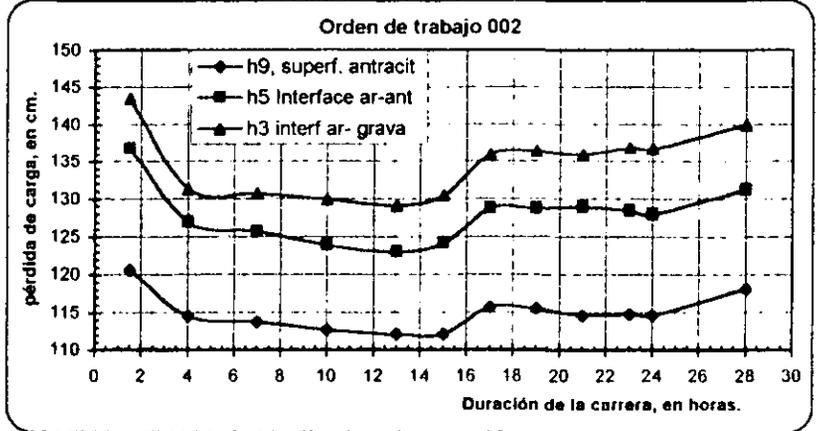
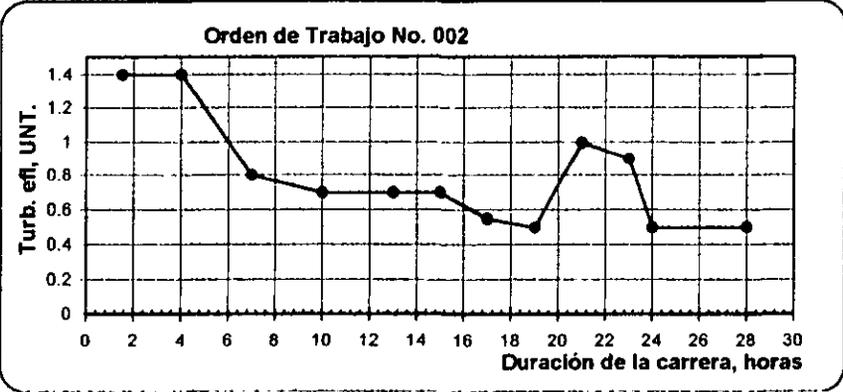
Tiempo Niveles piezométricos

hrs	h ₁₀	h ₉	h ₈	h ₇	h ₆	h ₅	h ₄	h ₃	h ₂	h ₁	Avance de pérdida de carga				
											h3-h7	h7-h9	h3-h9	h1-h10	Turb.
											Arena	Antracita	Dual	Total.	NTU
0.5	98.1	100.6	101.4	101.6	111.12	117.8	127.7	134.5	138.9	142	32.9	1	33.9	43.9	4.6
2.5	112.5	114.5	115.4	120.5	126.1	133.2	142.6	147.3	151.8	155.2	26.8	6	32.8	42.7	0.5
4.5	110	110.2	110.5	110.6	111	117.1	126.2	132.8	137.8	142.5	22.2	0.4	22.6	32.5	2.5
8.5	111	113	113.7	118.8	125	130.6	144.5	151.1	156.6	161.8	32.3	5.8	38.1	50.8	0.65
11.5	110.1	114	114.7	116.4	117.3	134.3	147.3	155.1	160.7	167.2	38.7	2.4	41.1	57.1	0.5
13.5	109.9	111.3	112.1	117	123.2	131.3	144	152.1	158.8	166.5	35.1	5.7	40.8	56.6	0.5
15.5	110.1	112.1	112.8	117.7	123.9	132	146.3	155.2	163.7	172.2	37.5	5.6	43.1	62.1	0.3
17.5	109.9	111	111.5	117.7	123.1	131	146.3	156.2	164.5	174	38.5	6.7	45.2	64.1	0.2
19.5	110.2	112.1	112.8	117.7	124.3	132.6	148.4	158.6	167.3	178.7	40.9	5.6	46.5	68.5	0.4
23.5	113.7	115.8	116.6	122.1	129.4	138.8	157	169.1	179.8	194.1	47	6.3	53.3	80.4	0.3
26.5	114.1	116.2	117	122.6	130.2	139.9	159.4	171.3	183.6	199.7	48.7	6.4	55.1	85.6	0.3
29.5	114.4	116.5	117.3	123.1	131.1	141.5	163.8	178	192.3	211.4	54.9	6.6	61.5	97	0.6
32.5	113	115	115.7	121.6	129.5	140.1	163	178	191.2	212.2	56.4	6.6	63	99.2	0.4
34.5	114.3	116.5	117.2	123.1	131.3	142.4	166.2	191.6	196.4	216.2	68.5	6.6	75.1	101.9	0.4
35	114.3	116.4	117.2	123.1	131.3	142.4	166.3	181.9	196.3	216.6	58.8	6.7	65.5	102.3	0.4



OPERACION UNITARIA: FILTRACION. ORDEN DE TRABAJO 002

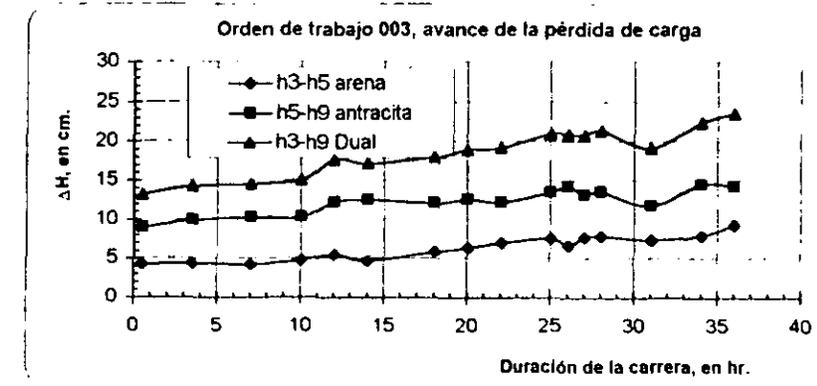
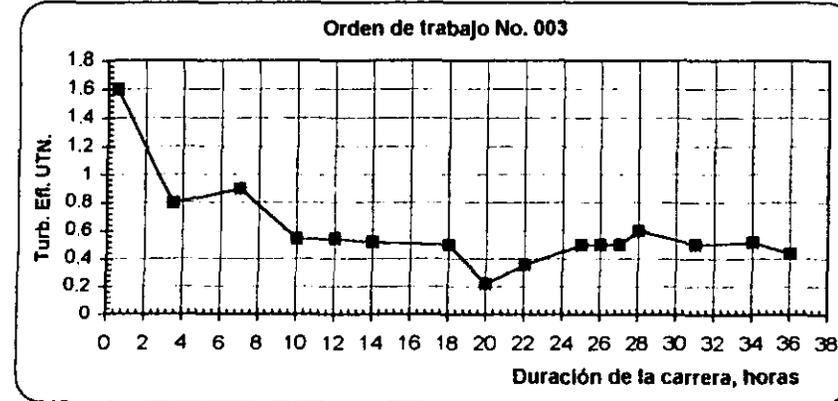
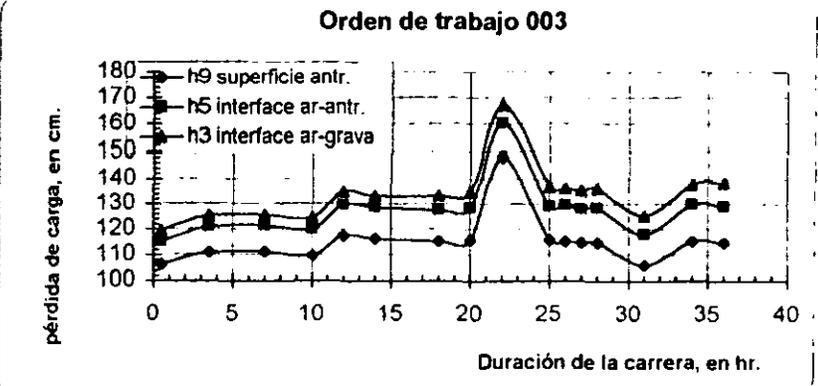
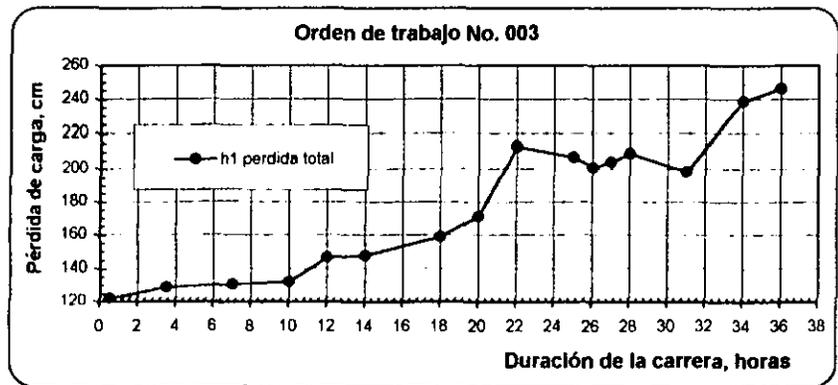
Tiempo hrs	Niveles piezométricos										AVENCE DE LA PERD DE CARGA			
	h10	h9	h8	h7	h6	h5	h4	h3	h2	h1	ARENA (h3-h6)	ANTR (h5-h9)	Dual (h3-h9)	Turb NTU
1.5	114	120.6	122	127	135.5	136.8	140.3	143.5	150.6	150.6	6.7	16.2	22.9	1.4
4	111.2	114.5	115.5	119.4	124.5	127	128.5	131.3	139.2	139.2	4.3	12.5	16.8	1.4
7	110.2	113.8	114.5	118.2	122.6	125.8	127.8	130.7	140.9	140.9	4.9	12	16.9	0.8
10	110	112.7	113.1	116.8	121.3	124	126.7	130	146	146	6	11.3	17.3	0.7
13	109.3	112.1	113.1	116	119.9	123	125.3	129.1	151	151	6.1	10.9	17	0.7
15	109.4	112.1	112.7	116.4	120.4	124.2	126.4	130.5	160.2	160.2	6.3	12.1	18.4	0.7
17	112.7	115.7	116.3	120.2	125.3	128.8	131.5	136	183.5	183.5	7.2	13.1	20.3	0.55
19	112.7	115.6	116.2	120	125.3	128.8	131.8	136.5	202.3	202.3	7.7	13.2	20.9	0.5
21	112	114.6	116.3	119.2	124.2	128.9	130.9	136	224.1	224.1	7.1	14.3	21.4	1
23	112.1	114.8	115.5	119.5	124.7	128.5	131.6	137	258.2	258.2	8.5	13.7	22.2	0.9
24	111.7	114.6	115.2	119.1	124.2	128	131.3	136.8	273.7	273.7	8.8	13.4	22.2	0.5
28	115.4	118.1	118.7	122.3	127.3	131.2	134.3	140	308.5	308.5	8.8	13.1	21.9	0.5



OPERACION UNITARIA: FILTRACION.

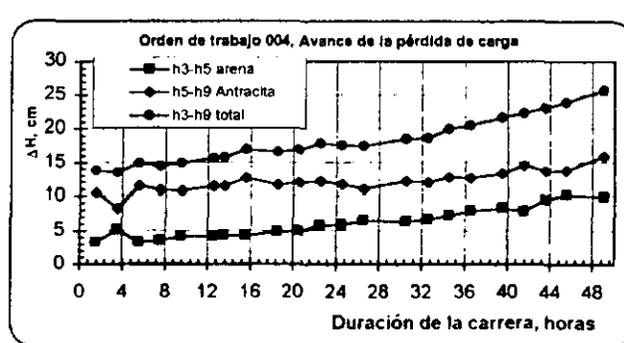
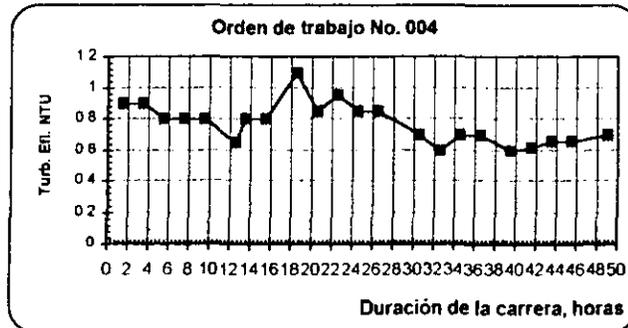
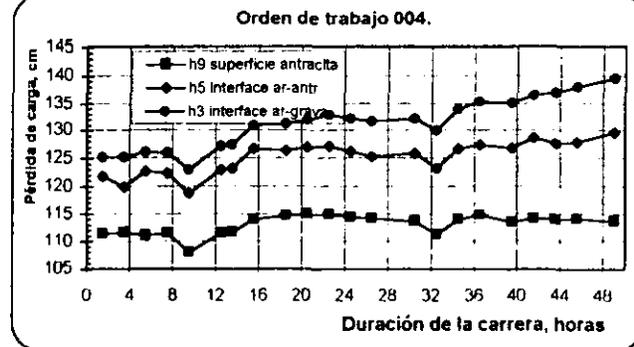
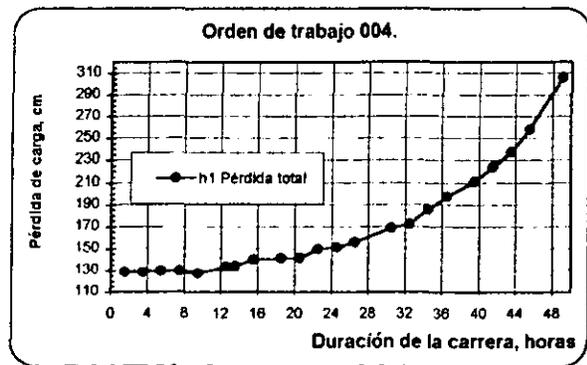
ORDEN DE TRABAJO 003

Tiempo hrs	Niveles piezométricos										Avance Pérd.de carga (Δh)			
	h_{10}	h_9	h_8	h_7	h_6	h_5	h_4	h_3	h_2	h_1	Arena (h_3-h_5)	Antrac. (h_5-h_9)	Dual (h_3-h_9)	Turb. NTU
0.5	104.2	106.3	107	109.5	113	115.2	116.7	119.5	121.5	122.4	4.3	8.9	13.2	1.6
3.5	108.8	111.1	111.7	114.6	118.4	121	122.9	125.4	127.9	129.1	4.4	9.9	14.3	0.8
7	109.6	111.3	112	114.8	118.9	121.6	123.2	125.8	128.8	130.9	4.2	10.3	14.5	0.9
10	107.4	109.7	110.3	113.3	117.2	120	122	124.8	128.5	132.5	4.8	10.3	15.1	0.54
12	114.8	117.6	118.3	121.7	126.4	129.8	132	135.3	140.4	146.8	5.5	12.2	17.7	0.54
14	113.3	116.3	116.8	120.2	124.7	128.8	130.2	133.5	133.6	147.8	4.7	12.5	17.2	0.52
18	112.9	115.5	116.2	119.4	124	127.6	130	133.5	145	159.2	5.9	12.1	18	0.5
20	113.4	116	116.7	120.1	124.9	128.6	131.6	135	154.4	171.6	6.4	12.6	19	0.22
22	145.5	148.3	148.9	152.2	157	160.5	163.1	167.5	195.5	213.2	7	12.2	19.2	0.36
25	113	115.8	116.5	120.1	125.2	129.3	132	136.9	180	207.2	7.6	13.5	21.1	0.5
26	112.6	115.5	116.2	119.6	124.5	129.8	131.5	136.5	180.5	201.2	6.7	14.3	21	0.5
27	112.1	114.9	115.6	119	124.1	128.1	131	135.8	182.9	204.8	7.7	13.2	20.9	0.5
28	112.3	115	115.8	119.2	124.4	128.6	131.5	136.5	188.7	209.7	7.9	13.6	21.5	0.6
31	110.4	106.2	107	109.8	114.2	118	120.5	125.4	183.5	198.5	7.4	11.8	19.2	0.5
34	112.8	115.5	116.3	119.9	125.4	130	133	138	220.3	238.8	8	14.5	22.5	0.52
36	112.2	115	115.6	119.4	124.7	129.3	132	138.6	243.7	246.6	9.3	14.3	23.6	0.44



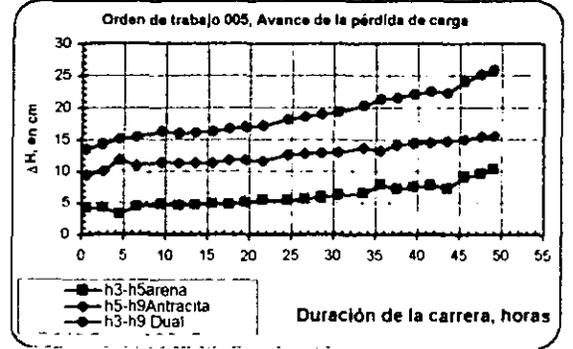
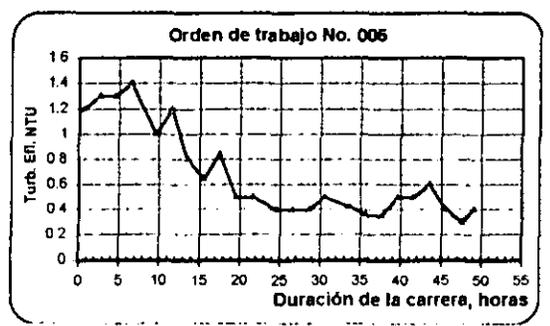
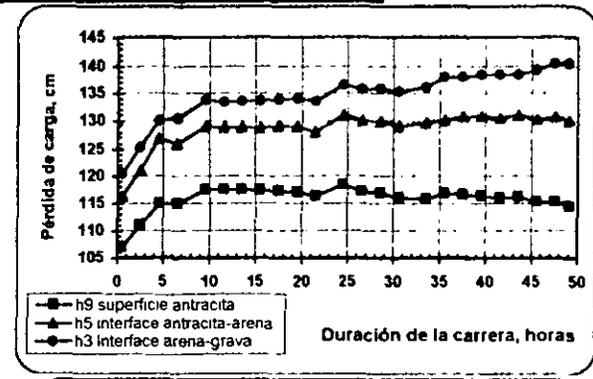
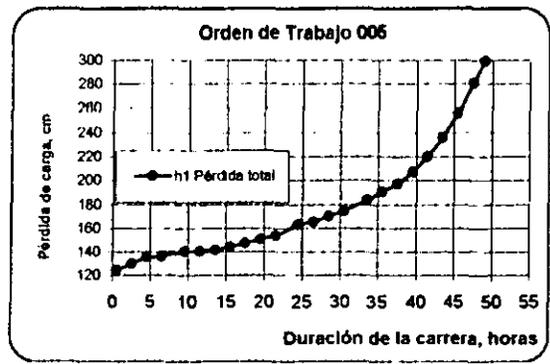
BASE DE DATOS DE LA EXPERIMENTACION
OPERACION UNITARIA: FILTRACION ORDEN DE TRABAJO 004

Tiempo hrs	Niveles piezométricos										Avance Pérd. de carga(Δh)			
	h_{10}	h_9	h_8	h_7	h_6	h_5	h_4	h_3	h_2	h_1	Arena (h_3-h_5)	Antrac. (h_6-h_9)	Dual (h_3-h_9)	Turb. NTU
1.5	109.5	111.4	113.5	115.5	119.4	121.9	123.4	125.2	128.9	128.9	3.3	10.5	13.8	0.8
3.5	109.9	111.7	112.8	115.7	119.5	120	123.5	125.2	128.6	128.9	5.2	8.3	13.5	0.9
5.5	110.3	111.2	113.2	116.3	120	122.8	123.4	126.2	128.3	130.2	3.4	11.6	15	0.8
7.5	109.6	111.5	112.5	115.8	119.4	122.4	123.9	126	129	130.2	3.6	10.9	14.5	0.8
9.5	106	108	108.9	115	118.5	118.8	120.5	123	126	127.5	4.2	10.8	15	0.8
12.5	109.7	111.5	112.8	116.2	120	123	124.9	127.2	131.1	133.9	4.2	11.5	15.7	0.65
13.5	109.7	111.7	113	116.3	120.3	123.2	125	127.5	131.7	134.9	4.3	11.5	15.8	0.8
15.5	112.5	114	115.1	118.9	123.4	126.7	128.5	131	136.1	140.6	4.3	12.7	17	0.8
18.5	112.1	114.7	115.5	119	123.4	126.4	128.5	131.3	136.7	141.9	4.9	11.7	16.6	1.1
20.5	112.4	115	115.7	119.5	123.8	127	129.1	132	138.7	141.6	5	12	17	0.85
22.5	112.5	115	115.8	119.5	124	127.2	129.4	133	140.3	149.8	5.8	12.2	18	0.95
24.5	112	114.5	115.3	118.8	123.2	126.3	128.6	132.2	140.7	151.6	5.9	11.8	17.7	0.85
26.5	111.6	114.2	115	118.4	122.7	125.3	128.1	131.8	143.1	156.2	6.5	11.1	17.6	0.85
30.5	111.2	113.7	114.5	118.1	122.5	125.9	128.3	132.3	150.7	169.3	6.4	12.2	18.6	0.7
32.5	109	111.3	112.1	115.5	119.8	123.3	125.8	130	154.9	173	6.7	12	18.7	0.6
34.5	111.4	114	114.8	118.4	123.3	126.8	129.5	134	166	186.5	7.2	12.8	20	0.7
36.5	111.8	114.8	115.3	119	123.7	127.5	130.3	135.4	178.2	198.2	7.9	12.7	20.6	0.7
39.5	111	113.5	114.4	118	123	126.9	129.7	135.2	188.4	211.5	8.3	13.4	21.7	0.6
41.5	111.5	114.2	115	119	123.7	128.8	131	136.6	202.3	224.1	7.8	14.6	22.4	0.62
43.5	111.5	114	114.8	118.6	123.6	127.7	130.8	137.1	220.6	238.1	9.4	13.7	23.1	0.66
45.5	111.5	114.1	114.9	118.8	123.6	127.9	131.3	138.1	247.4	258.7	10.2	13.8	24	0.66
49	111.1	113.7	114.5	118.4	123.5	129.7	131.3	139.6	306.3	306.4	9.9	16	25.9	0.7



BASE DE DATOS DE LA EXPERIMENTACION
OPERACION UNITARIA: FILTRA ORDEN DE TRABAJO 006

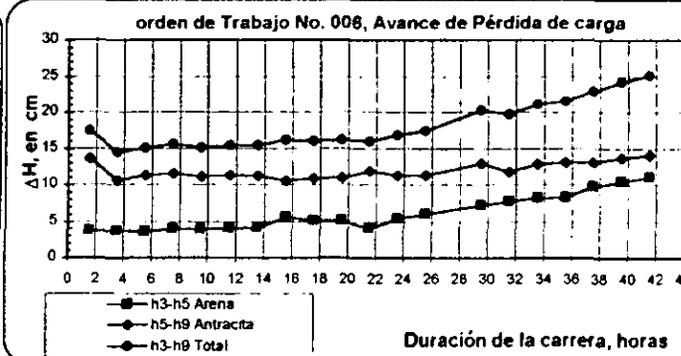
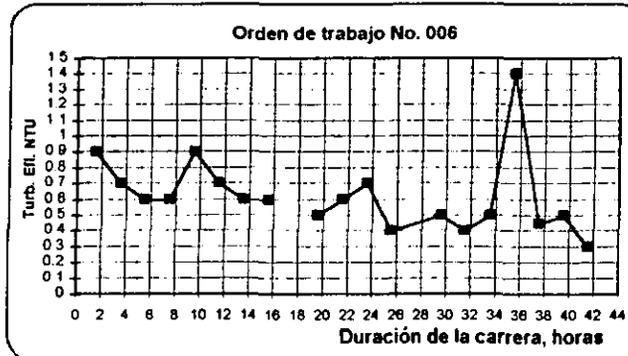
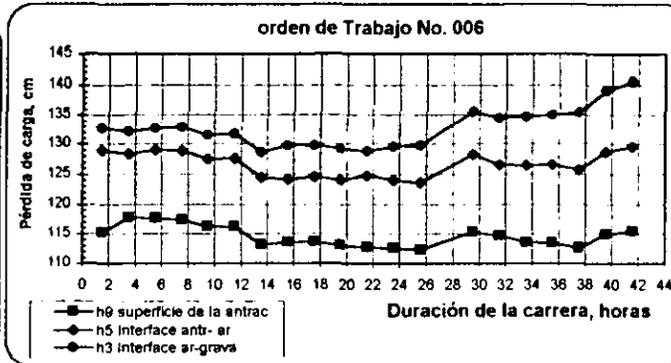
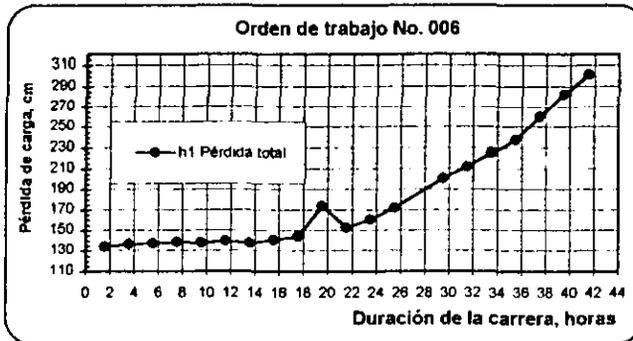
Tiempo hrs	Niveles piezométricos										Avance de la Pérd. de carga			
	h_{10}	h_9	h_8	h_7	h_6	h_5	h_4	h_3	H_2	h_1	Arena (h_3-h_6)	Antrac. (h_5-h_9)	Dual (h_3-h_9)	Turb NTU
0.5	105	107	107.8	111	114	116	118	121	123	125	4.1	9.4	13.5	1.2
2.5	110	111	112	115	119	121	123	125	129	130	4.2	10.1	14.3	1.3
4.5	113	115	116	120	124	127	128	130	135	136	3.2	11.9	15.1	1.3
6.5	113	115	116	120	124	126	128	130	136	136	4.4	11	15.4	1.4
9.5	115	118	118.4	122	124	129	131	134	140	141	4.8	11.5	16.3	1
11.5	115	118	118.3	122	127	129	131	134	141	141	4.8	11.4	16	1.2
13.5	115	118	118.4	122	127	129	131	134	142	142	4.7	11.4	16.1	0.8
15.5	115	117	118.3	122	127	129	131	134	144	144	4.9	11.4	16.3	0.65
17.5	115	117	118.2	122	127	129	131	134	147	148	4.8	11.9	16.7	0.85
19.5	115	117	118	122	127	129	131	134	151	151	5.1	11.9	17	0.5
21.5	114	116	117.2	121	126	128	131	134	154	154	5.5	11.7	17.2	0.5
24.5	116	119	119.3	125	129	131	133	137	163	164	5.5	12.7	18.2	0.4
26.5	115	117	118.1	122	127	130	133	136	166	166	5.7	12.9	18.8	0.4
28.5	114	117	117.8	122	127	130	133	136	171	171	6	13	19	0.4
30.5	113	116	116.8	121	127	129	132	135	174	175	6.3	13.1	19.4	0.5
33.5	114	116	116.7	121	127	130	132	136	183	184	6.6	13.8	20.4	0.42
35.5	114	117	117.8	122	128	130	135	138	191	191	8	13.3	21.3	0.36
37.5	114	117	117.5	122	128	131	134	138	197	197	7.3	14.2	21.5	0.35
39.5	114	116	117.4	122	128	131	134	139	207	207	7.6	14.5	22.1	0.5
41.5	114	116	117	122	128	131	134	139	220	220	7.9	14.6	22.5	0.5
43.5	114	116	117.1	122	128	131	134	139	236	236	7.4	14.9	22.3	0.6
45.5	113	115	116.1	121	127	130	134	139	256	256	9.1	15	24.1	0.4
47.5	113	115	116.2	121	127	131	135	141	281	281	9.7	15.5	25.2	0.3
49	113	115	115.5	120	127	130	134	141	300	300	10.4	15.6	26	0.4



BASE DE DATOS DE LA EXPERIMENTACION
OPERACION UNITARIA: FILTACION. ORDEN DE TRABAJO 006

Tiempo Niveles piezométricos

hrs	h10	h9	h8	h7	h6	h5	h4	h3	h2	h1	Avance de la Pérd. de carga			
											Arena (h3-h6)	Antrac. (h5-h9)	Dual (h3-h9)	Turb. NTU
1.5	112.9	115.3	118	122	123	129	130.2	132.8	133.3	134.3	3.8	13.7	17.5	0.9
3.5	115.3	117.8	118.5	122	125.6	128.5	130.3	132.3	135.3	136.8	3.8	10.7	14.5	0.7
5.5	115.3	117.7	119	122.1	126	129.1	130.5	132.8	135.7	137.8	3.7	11.4	15.1	0.6
7.5	115.2	117.4	118.7	122	125.9	129	130.5	133	136.1	138.9	4	11.6	15.6	0.6
9.5	114	116.4	117.3	120.6	124.8	127.6	129.5	131.6	135.6	138.2	4	11.2	15.2	0.9
11.5	113.7	116.3	117	120.5	124.6	127.7	129.7	131.8	135.8	139.8	4.1	11.4	15.5	0.7
13.5	111	113.2	114.3	117.4	121.5	124.5	126.4	128.7	137.9	138.2	4.2	11.3	15.5	0.6
15.5	111.2	113.6	114.4	117.6	121.8	124.2	126.8	129.8	134.1	141.2	5.6	10.6	16.2	0.6
17.5	111.8	113.7	114	117.6	121.8	124.6	126.7	129.8	134.8	144.1	5.2	10.9	16.1	
19.5	110.8	113.1	113.9	117	121.1	124.1	126.2	129.3	135	174.5	5.2	11	16.2	0.5
21.5	110.3	112.8	113.6	117	120.8	124.8	125.8	128.9	136.7	152.8	4.1	12	16.1	0.6
23.5	110.2	112.7	113.4	116.6	120.9	124.1	126.2	129.6	139	160.9	5.5	11.4	16.9	0.7
25.5	110	112.3	113	116.1	120.6	123.7	126	129.8	143.7	172.3	6.1	11.4	17.5	0.4
29.5	112.5	115.4	116.4	119.8	124.6	128.4	131	135.7	162.8	201.3	7.3	13	20.3	0.5
31.5	111.4	114.8	114.8	118.3	123	126.7	129.4	134.6	171.1	212.3	7.9	11.9	19.8	0.4
33.5	111.8	113.6	113.6	117.9	122.8	126.5	129.2	134.8	184	225	8.3	12.9	21.2	0.5
35.5	111	113.5	113.5	118	122.8	126.7	129.5	135.1	192.5	238.2	8.4	13.2	21.6	1.4
37.5	110	112.6	113.4	117	122	125.8	128.7	135.6	215.8	260.9	9.8	13.2	23	0.45
39.5	112.2	115	115.8	119.5	124.8	128.8	132.3	139.3	240.1	282.5	10.5	13.8	24.3	0.5
41.5	112.6	115.5	116.2	121	125.4	129.6	133	140.7	261.1	302	11.1	14.1	25.2	0.3



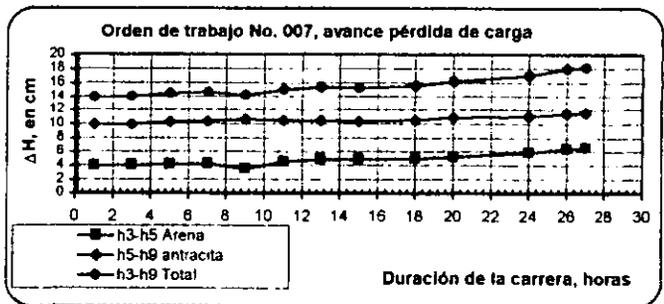
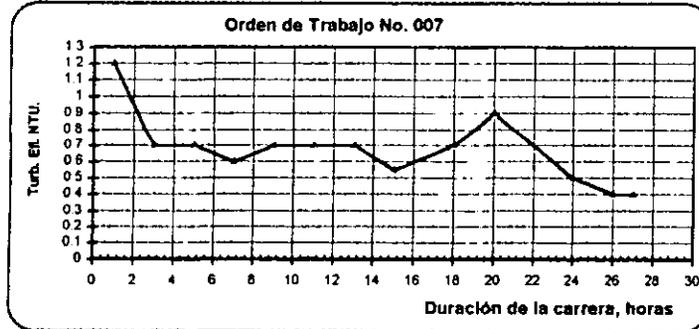
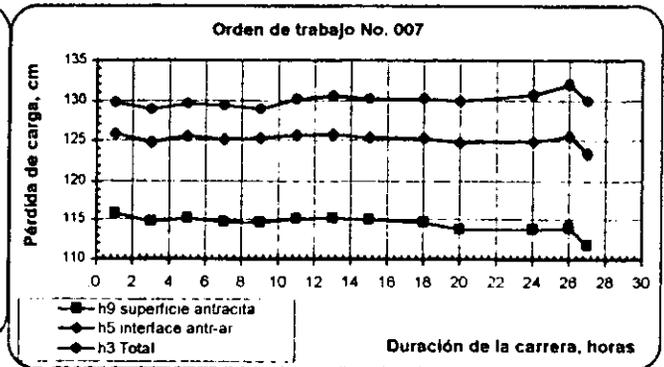
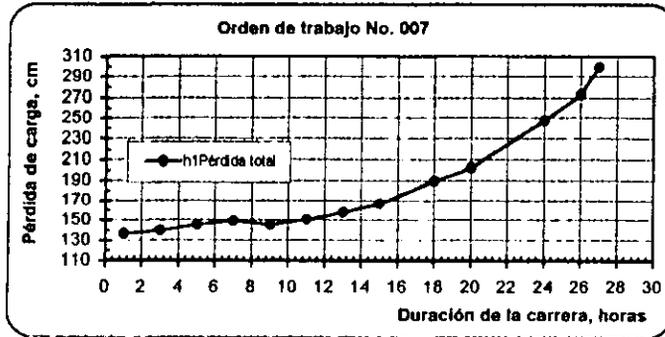
BASE DE DATOS DE LA EXPERIMENTACION

OPERACION UNITARIA: FILTACION.

ORDEN DE TRABAJO 007

Tiempo Niveles piezométricos

hrs	h10	h9	h8	h7	h6	h5	h4	h3	h2	h1	Avance de pérdida de carga			Turb.
											Arena (h3-h5)	Antr. (h5-h9)	Dual (h3-h9)	
1	113.5	115.8	116.4	119.8	123	125.8	127	129.8	132.1	137	4	10	14	1.2
3	112.3	114.8	115.6	118.6	122.4	124.8	126.3	128.9	133	140.4	4.1	10	14.1	0.7
5	112.8	115.2	116	119.1	122.9	125.5	127.1	129.7	135.4	145.5	4.2	10.3	14.5	0.7
7	112.3	114.7	115.5	118.7	122.6	125.1	127	129.4	136.4	149.3	4.3	10.4	14.7	0.6
9	112.3	114.6	115.5	118.8	122.4	125.3	126.9	128.9	134	145.7	3.6	10.7	14.3	0.7
11	112.7	115.1	115.1	119.1	123.1	125.6	127.5	130.2	135.6	150.7	4.6	10.5	15.1	0.7
13	112.8	115.2	116	119.2	123.2	125.7	127.8	130.6	138.1	158	4.9	10.5	15.4	0.7
15	112.5	115	115.7	118.9	122.8	125.4	127.7	130.3	141.3	167.2	4.9	10.4	15.3	0.55
18	112.2	114.7	115.4	118.5	122.5	125.3	127.4	130.3	160.3	190.1	5	10.6	15.6	0.7
20	111.3	113.8	114.6	117.9	121.8	124.7	126.8	130	171.4	202.5	5.3	10.9	16.2	0.9
24	111.4	113.8	114.5	117.8	123	124.9	127.1	130.8	223.6	247.1	5.9	11.1	17	0.5
26	111.4	114	114.8	118.1	122.3	125.5	127.4	132	258	273.8	6.5	11.5	18	0.4
27	109.4	111.8	112.5	118	120	123.4	126	130	290.4	300	6.6	11.6	18.2	0.4



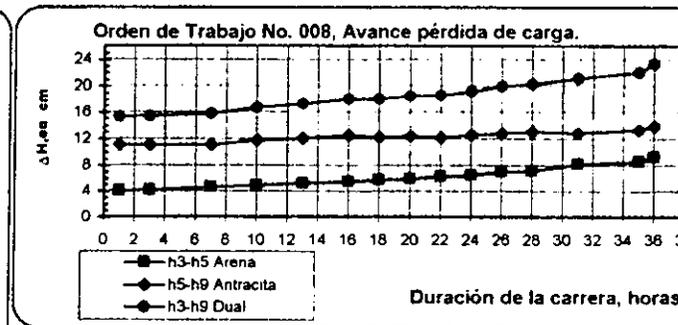
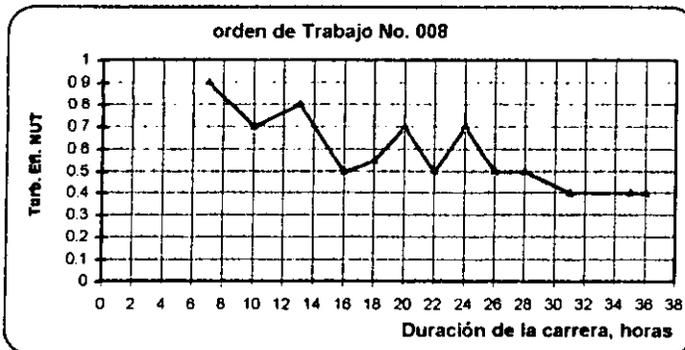
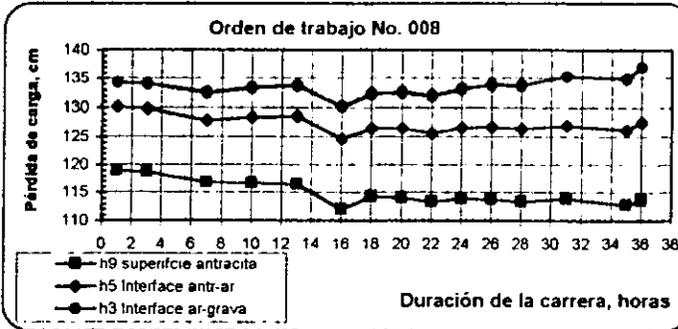
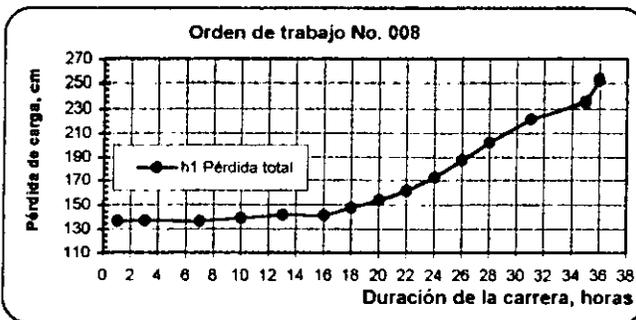
BASE DE DATOS DE LA EXPERIMENTACION

OPERACION UNITARIA: FILTACION.

ORDEN DE TRABAJO 008

Tiempo Niveles piezométricos

hrs	h10	h9	h8	h7	h6	h5	h4	h3	h2	h1	Avance Pérdida de carga			
											Arena (h3-h5)	Antr. (h5-h9)	Dual (h3-h9)	Turb. NTU
1	116.7	119	120	123.4	127.5	130.2	132.1	134.3	137	137	4.1	11.2	15.3	
3	116.3	118.7	119.6	123	127.2	129.9	131.9	134.1	137	137.5	4.2	11.2	15.4	
7	114.6	116.8	117.9	121	125.2	128	130.1	132.6	136.1	137.1	4.6	11.2	15.8	0.9
10	114.5	116.7	117.7	121.1	125.5	128.5	130.6	133.4	138	139.6	4.9	11.8	16.7	0.7
13	114.3	116.5	117.4	121.1	125.6	128.6	130.9	133.8	139.1	142.3	5.2	12.1	17.3	0.8
16	109.3	112.1	113.2	116.9	121.2	124.7	126.4	130.2	138	141.8	5.5	12.6	18.1	0.5
18	111.9	114.3	115.1	118.7	123.4	126.6	128.9	132.4	144.2	148	5.8	12.3	18.1	0.55
20	111.9	114.1	115	118.6	123.2	126.6	128.9	132.6	148.3	154.1	6	12.5	18.5	0.7
22	111.3	113.4	114.2	117.7	122.3	125.7	128.1	132	154.3	161.7	6.3	12.3	18.6	0.5
24	111.6	114	114.8	118.3	123.1	126.7	129.2	133.2	168.6	172.8	6.5	12.7	19.2	0.7
26	111.5	113.9	114.7	118.3	123.1	126.8	129.4	133.9	185.5	187.4	7.1	12.9	20	0.5
28	111.1	113.4	114.2	117.9	122.7	126.5	129.3	133.8	201.8	202.3	7.3	13.1	20.4	0.5
31	111.5	114	114.8	118.4	123.5	127	130	135.3	220.5	222	8.3	13	21.3	0.4
35	110.6	112.8	113.7	117.4	122.3	126.2	129.2	134.9	235.3	235.9	8.7	13.4	22.1	0.4
36	111.4	113.6	114.5	118.3	123.5	127.6	130.7	137	253	253.2	9.4	14	23.4	0.4



RETROLAVADO DEL FILTRO ORDEN DE TRABAJO 001

Caudal de retrolavado = 37 l/min

Tasa de retrolavado = 60 l/(m²-min)

Tiempo de retrolavado = 15 min.

Volumen de agua consumido = 555 lt.

Tiempo min.	Niveles piezométricos										Total	Turb. UNT
	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₉	h ₁₀		
0	87.3	87.3	87.3	87.3	87.3	87.3	87.3	87.3	87.3	87.3	0	162.5
1	188.5	175.9	172.3	153.2	150.2	139.5	134.4	132.7	131.1	128.9	59.6	55
2	188.5	176	172.3	162.8	155.4	146.2	138.9	133.3	130.9	129.8	58.7	10.2
3	188.5	175.9	172.3	163.8	155.5	146.7	139	133.4	130.9	129.8	58.7	6
4	188.4	175.8	172.3	163.9	155.5	146.8	139	133.4	131	129.8	58.6	4.35
5	188.5	175.4	172.3	164	155.4	146.8	138.9	133.4	130.9	129.8	58.7	3.55
6	188.8	175.5	172.3	164	155.5	146.8	139	133.4	131	129.8	59	3.5
7	188.5	175.7	172.3	164.1	155.5	146.7	138.9	133.5	131	129.8	58.7	3.1
8	188.5	175.5	172.3	164	155.5	146.8	138.9	133.3	130.9	129.8	58.7	2.9
9	188.5	175.5	172.3	163.9	155.5	146.9	140.9	133.4	130.9	129.8	58.7	2.6
10	188.4	175.5	172.3	164	155.5	146.7	138.9	133.4	131	129.8	58.6	2.6
11	188.5	175.5	172.3	164	155.5	146.7	138.9	133.4	130.9	129.8	58.7	2.5
12	188.5	175.5	172.3	164	155.5	146.7	138.9	133.4	131	129.8	58.7	2.4
13	188.5	175.5	172.3	164	155.5	146.7	138.9	133.4	131	129.8	58.7	2.3
14	188.5	175.5	172.3	164	155.5	146.7	138.9	133.4	130.9	129.8	58.7	2.25
15	188.5	175.5	172.3	164	155.5	143.7	138.9	133.4	130.9	129.8	58.7	2.25

**RETROLAVADO DEL FILTRO
ORDEN DE TRABAJO 002**

Caudal de retrolavado = 37 l/min

Tasa de retrolavado = 60 l/(m²-min)

Tiempo de retrolavado = 30 min.

Volumen de agua consumido = 1110 lt.

Tiempo min.	Niveles piezométricos										Total	Turb. UNT
	b ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₉	h ₁₀		
0	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	0	187.5
1	165	127.9	155.6	146.8	138.2	133.5	131.7	130.1	127.9	126.8	38.2	30
2	165	157.8	155.7	147.5	138.9	134.2	131.8	130.1	128	126.8	38.2	26
3	165	157.8	155.7	147.6	138.9	134.2	131.7	130.1	127.9	126.8	38.2	18
4	165	157.9	155.6	147.6	138.9	134.2	131.7	130.1	127.9	126.8	38.2	13
5	165	157.9	155.6	147.6	138.9	134.2	131.7	130.1	127.8	126.8	38.2	10.5
6	165	157.8	155.6	147.6	138.8	134.1	131.7	130	127.7	126.8	38.2	10
7	165	157.8	155.6	147.6	138.9	134.1	131.7	130	127.8	126.8	38.2	10
8	165	157.7	155.7	147.7	138.9	134.2	131.7	130.1	127.8	126.8	38.2	9.8
9	165	157.8	155.7	147.7	138.7	134.3	131.7	130.1	127.8	126.8	38.2	7.6
10	165	157.8	155.7	147.7	138.7	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	7.4
11	165	157.8	155.7	147.7	138.8	134.4	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	5.9
12	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	5.75
13	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	5.1
14	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	4.9
15	165	158.8	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	4.3
16	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	4.2
17	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	4.1
18	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	4
19	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	4
20	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	3.7
21	165	157.8	155.7	147.7	138.8	134.3	131.7	130.1	127.8	126.8	38.2	3.6
22	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	3.2
23	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	3.3
24	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	3
25	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	2.9
26	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	2.7
27	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	2.8
28	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	2.5
29	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	2.5
30	165	157.7	155.7	147.7	138.8	134.3	131.8	130.1	127.8	126.8	38.2	2.5

RETROLAVADO DEL FILTRO ORDEN DE TRABAJO 003

Caudal de retrolavado = 55 l/min

Tasa de retrolavado = 893.2 l/(m²-min)

Tiempo de retrolavado = 22 min

Volumen de agua consumido = 1210 lt.

Turbiedad de agua para retrolavado = 0.22 UNT

Tiempo	Niveles piezométricos										Total	Turb. UNT
	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₉	h ₁₀		
0	79.4	79.4	79.4	79.4	79.4	79.4	79.4	79.4	79.4	79.4	0.0	247
1	173.8	160.5	157	148.4	140.3	135.2	132.7	131.1	129.1	127.2	46.6	207
2	173.8	160.5	157	148.4	140.1	135.2	132.7	131.1	129.1	127.2	46.6	66.1
3	171.9	160.5	157	148.4	140.2	135.1	132.7	131.1	129.1	127.2	44.7	43.8
4	173.9	160.5	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.2	127.2	46.7	34.6
5	173.9	160.5	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.2	127.2	46.7	29.1
6	174	160.5	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.2	127.1	46.9	25.2
7	174	160.5	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.2	127.1	46.9	23.3
8	174	160.5	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.2	127.1	46.9	20.9
9	174	160.5	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.2	127.1	46.9	19.1
10	174.2	160.5	157	148.5	140.2	135.2	132.7	131.1	129.2	127.1	47.1	17.2
11	174.2	160.5	157	148.5	140.2	135.2	132.7	131.1	129.1	127.1	47.1	16.2
12	174.2	160.5	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.1	127.1	47.1	15.8
13	174.2	160.5	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.1	127.1	47.1	14.7
14	174.2	160.5	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.1	127.1	47.1	13.1
15	174.2	160.5	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.1	127.1	47.1	12.1
16	174.3	160.5	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.1	127.1	47.2	11.6
17	174.3	160.5	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.1	127.1	47.2	10.4
18	174.3	160.5	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.1	127.1	47.2	11
19	174.5	160.4	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.1	127.1	47.4	10.1
20	174.5	160.4	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.1	127.1	47.4	9.59
21	174.5	160.4	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.1	127.1	47.4	8.51
22	174.5	160.4	157	148.5	140.2	135.1	132.7	131.1	129.1	127.1	47.4	9.67

RETROLAVADO DEL FILTRO ORDEN DE TRABAJO 004

Caudal de retrolavado = 55 l/min

Tasa de retrolavado = 893.2 l/(m²-min)

Tiempo de retrolavado = 41 min.

Volumen de agua consumido = 2255 lt.

Volumen de agua consumido = 2255 lt.

Turbiedad de agua para retrolavado = 0.70 UNT

Tiempo Min.	Niveles piezométricos										Total	Turb. UNT	
	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₉	h ₁₀			
0	119.2	119.2	119.2	119.2	119.2	119.2	119.2	119.2	119.2	119.2	119.2	0.0	765
1	174.1	161.3	156.9	147.8	140	135.2	133	131.3	129	127.4	127.4	46.7	245
2	174	161.3	157	148.6	140.3	135.3	132.9	131.3	129.2	127.4	127.4	46.6	210
3	174	161.3	156.8	148.6	140.3	135.4	132.8	131.3	129.2	127.2	127.2	46.8	84
4	174	161.3	156.9	148.6	140.3	135.4	132.9	131.2	129.2	127.2	127.2	46.8	75
5	174	161.3	156.9	148.6	140.3	135.4	132.9	131.2	129.2	127.2	127.2	46.8	62
6	173.9	161.2	156.9	148.6	140.3	135.4	132.9	131.3	129.2	127.2	127.2	46.7	56
7	173.9	161.2	156.9	148.6	140.3	135.4	132.8	131.2	129.2	127.2	127.2	46.7	49
8	173.8	161	156.8	148.6	140.3	135.4	132.8	131.2	129.1	127.1	127.1	46.7	45
9	173.7	161	156.8	148.6	140.3	135.4	132.8	131.2	129.1	127.1	127.1	46.6	42
10	173.7	161	156.8	148.6	140.3	135.4	132.8	131.1	129.1	127.1	127.1	46.6	38
11	173.7	161	156.8	148.6	140.3	135.4	132.8	131.1	129.1	127.1	127.1	46.6	36
12	173.7	161	156.8	148.6	140.3	135.4	132.8	131.1	129.1	127.1	127.1	46.6	33.5
13	173.6	161	156.8	148.6	140.3	135.4	132.8	131.1	129.1	127.1	127.1	46.5	32
14	173.5	161	156.8	148.6	140.3	135.4	132.8	131.1	129	127	127	46.5	31
15	173.5	161	156.8	148.6	140.3	135.4	132.8	131.1	129	127	127	46.5	28
16	173.5	161	156.8	148.6	140.3	135.4	132.8	131.1	129	127	127	46.5	28
17	173.5	161	156.6	148.6	140.3	135.4	132.8	131.1	129	127	127	46.5	27
18	173.4	161	156.6	148.6	140.3	135.4	132.8	131.1	129	127	127	46.4	26
19	173.4	161	156.7	148.6	140.2	135.4	132.8	131.1	129	127	127	46.4	25
20	173.4	161	156.8	148.6	140.2	135.4	132.8	131.1	129	127	127	46.4	24
21	173.4	161	156.8	148.6	140.2	135.4	132.7	131.1	129	127	127	46.4	22
22	173.3	161	156.7	148.6	140.2	135.4	132.8	131.1	129	127	127	46.3	22
23	173.2	161	156.7	148.6	140.2	135.4	132.7	131.1	129	127	127	46.2	21
24	173.2	161	156.8	148.6	140.2	135.4	132.8	131.1	129	127	127	46.2	20.5
25	173.1	161	156.8	148.6	140.2	135.4	132.7	131.1	129	127	127	46.1	20
26	173	161	156.8	148.6	140.2	135.4	132.7	131.1	129	127	127	46.0	19
27	173.1	161	156.8	148.6	140.2	135.4	132.7	131.1	129	127	127	46.1	19
28	173	161	156.8	148.6	140.2	135.4	132.7	131.1	129	127	127	46.0	19
29	173	161	156.7	148.6	140.2	135.4	132.7	131.1	129	127	127	46.0	18
30	173	161	156.7	148.6	140.2	135.4	132.7	131.1	129	127	127	46.0	19

31	173	161	156.7	148.6	140.2	135.4	132.7	131.1	129	127	46.0	18
32	173	160.8	156.7	148.6	140.2	135.4	132.7	131	128.9	127	46.0	17
33	173	160.8	156.7	148.6	140.2	135.4	132.7	131	128.9	127	46.0	16
34	173	160.8	156.7	148.6	140.2	135.4	132.7	131	128.9	127	46.0	16
35	173	160.8	156.7	148.6	140.2	135.4	132.7	131	128.9	127	46.0	16
36	173	160.8	156.7	148.6	140.2	135.4	132.7	131	128.9	127	46.0	15
37	173	160.8	156.7	148.6	140.2	135.4	132.7	131	128.9	127	46.0	15
38	173	160.8	156.7	148.6	140.2	135.4	132.7	131	128.9	127	46.0	15
39	173	160.8	156.7	148.6	140.2	135.4	132.7	131	128.9	127	46.0	15
40	172.9	160.8	156.7	148.6	140.2	135.4	132.7	131	128.9	127	45.9	15
41	172.9	160.8	156.7	148.6	140.2	135.4	132.7	131	128.9	127	45.9	15

RETROLAVADO DEL FILTRO ORDEN DE TRABAJO 005

Caudal de retrolavado = 65 l/min

Tasa de retrolavado = 1055.62 l/(m²-min)

Tiempo de retrolavado = 25 min.

Volumen de agua consumido = 1625 lt.

Turbiedad de agua para retrolavado = 0.50 UNT

Tiempo	Niveles piezométricos											Turb.
Min.	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₉	h ₁₀	Total	UNT
0	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	88.5	0.0	730
1	182.2	163.3	157.5	145.7	138	133.5	132.3	132	130	128.5	53.7	310
2	182.5	163.7	157.5	149.1	141	136.1	133.8	132	130	128.5	54.0	126
3	182.5	163.5	157.4	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	54.0	106
4	182.6	163.6	157.6	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	54.1	37
5	183	163.4	157.6	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	54.5	32
6	183.9	163.4	157.6	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	55.4	31
7	183.3	163.3	157.6	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	54.8	31
8	183.4	163.2	157.6	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	54.9	28
9	183.4	163.2	157.6	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	54.9	25
10	183.4	163.2	157.6	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	54.9	24
11	183.8	163.1	157.5	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	55.3	23
12	183.9	163.1	157.6	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	55.4	22
13	184	163.1	157.6	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	55.5	21
14	184.1	163.1	157.5	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	55.6	20
15	184.2	163.1	157.5	149.2	141	136.1	133.8	132	130	128.5	55.7	19.5
16	184.5	163.1	157.5	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	56.0	19
17	184.6	163.1	157.5	149.2	141	136.2	133.8	132	130	128.5	56.1	19.5
18	184.7	163.1	157.5	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	56.2	19.5
19	184.7	163.1	157.5	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	56.2	19.5
20	184.9	163.1	157.5	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	56.4	18
21	185.2	163.1	157.5	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	56.7	18
22	185.3	163.1	157.5	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	56.8	17.5
23	185.3	163.1	157.5	149.1	141	136.1	133.8	132	130	128.5	56.8	17.5
24	185.8	163.1	157.5	149.1	141	136.2	133.8	132	130	128.5	57.3	17.5
25	185.9	163.1	157.5	149.1	141	136.1	133.8	132	130	128.5	57.4	17.5

RETROLAVADO DEL FILTRO ORDEN DE TRABAJO 006

Caudal de retrolavado = 65 l/min

Tasa de retrolavado = 1055.62 l/(m²-min)

Tiempo de retrolavado = 35 min.

Volumen de agua consumido = 2275 lt.

Turbiedad de agua para retrolavado = 0.35 UNT

Tiempo	Niveles piezométricos										Total	Turb.
Min.	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₉	h ₁₀	Total	UNT
0	120.2	120.2	120.2	120.2	120.2	120.2	120.2	120.2	120.2	120.2	0.0	
1	181.5	162.9	157.6	149.2	140.6	135.7	133.7	132.1	130.2	128.4	53.1	290
2	181.6	162.9	157.5	149.2	141.3	136.1	133.9	132.1	130.2	128.4	53.2	67
3	181.7	162.8	157.5	149.2	141.3	136.1	133.9	132.2	130.3	128.4	53.3	54.5
4	181.7	162.7	157.5	149.2	141.3	136.1	133.9	132.2	130.3	128.4	53.3	48
5	181.8	162.6	157.5	149.3	141.3	136.1	133.9	132.1	130.2	128.4	53.4	39
6	181.7	162.8	157.5	149.3	141.3	136.1	133.9	132.1	130.2	128.4	53.3	38.5
7	181.6	162.5	157.5	149.3	141.2	136.1	133.9	132.1	130.2	128.4	53.2	36
8	181.8	162.5	157.5	149.3	141.2	136.1	133.9	132.1	130.2	128.4	53.4	34.3
9	181.8	162.4	157.5	149.3	141.2	136.1	133.9	132.1	130.2	128.4	53.4	29.5
10	181.8	162.5	157.5	149.3	141.2	136.1	133.9	132.1	130.2	128.4	53.4	26.5
11	181.8	162.5	157.5	149.3	141.2	136.1	133.9	132.1	130.2	128.4	53.4	25
12	181.8	162.6	157.5	149.3	141.2	136.1	133.8	132.2	130.2	128.4	53.4	24
13	181.5	162.4	157.5	149.3	141.2	136.1	133.8	132.2	130.2	128.4	53.1	23
14	181.4	162.4	157.5	149.3	141.2	136.1	133.8	132.2	130.2	128.4	53.0	21.5
15	181.3	162.4	157.5	149.3	141.1	136.1	133.8	132.2	130.2	128.4	52.9	21
16	181.3	162.5	157.5	149.3	141.1	136.1	133.8	132.2	130.2	128.4	52.9	20
17	181.3	162.5	157.5	149.3	141.1	136.1	133.8	132.1	130.2	128.4	52.9	19.5
18	181.1	162.6	157.5	149.3	141.1	136.1	133.8	132.1	130.2	128.4	52.7	18.5
19	181.1	162.7	157.5	149.3	141.1	136.1	133.8	132.2	130.2	128.4	52.7	18.5
20	181.2	162.7	157.5	149.3	141.1	136.1	133.8	132.1	130.2	128.4	52.8	18.3
21	181.1	162.7	157.5	149.3	141.1	136.1	133.8	132.1	130.2	128.4	52.7	17
22	181.1	162.6	157.5	149.3	141.1	136.1	133.8	132.1	130.2	128.4	52.7	17
23	181	162.6	157.5	149.3	141.1	136.1	133.8	132.1	130.2	128.4	52.6	17
24	181	162.5	157.5	149.3	141.1	136.1	133.8	132.1	130.1	128.4	52.6	17
25	180.8	162.7	157.5	149.3	141.1	136.1	133.8	132.1	130.1	128.3	52.5	17
26	180.8	162.6	157.4	149.3	141.1	136.1	133.7	132	129.9	128.3	52.5	
27	180.7	162.5	157.4	149.3	141.1	136.1	133.7	132	129.9	128.2	52.5	15.5
28	180.5	162.4	157.4	149.3	141.1	136.1	133.7	132	129.9	128.3	52.2	15.5
29	180.4	162.3	157.4	149.3	141.1	136.1	133.7	132	129.9	128.3	52.1	15.5
30	180.5	162.4	157.4	149.3	141.1	136.1	133.7	132	129.9	128.3	52.2	15.5
31	180.3	162.3	157.4	149.3	141.1	136.1	133.7	132	129.9	128.3	52.0	15.5
32	180.4	162.3	157.4	149.3	141.1	136.1	133.7	132	129.9	128.3	52.1	15.5
33	180.3	162.3	157.4	149.3	141.1	136.1	133.7	132	129.9	128.2	52.1	15.5
34	180.3	162.3	157.4	149.3	141.1	136.1	133.7	132	129.9	128.2	52.1	15
35	180.3	162.3	157.4	149.3	141.1	136.1	133.7	132	129.9	128.2	52.1	14.5

RETROLAVADO DEL FILTRO ORDEN DE TRABAJO 007

Caudal de retrolavado = 65 l/min

Tasa de retrolavado = 1055.62 l/(m²-min)

Tiempo de retrolavado = 25 min.

Volumen de agua consumido = 1625 lt.

Turbiedad de agua para retrolavado = 0.48 UNT.

Tiempo Min.	Niveles piezométricos										Turb. UNT	
	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₈	h ₁₀		Total
0	97.7	97.7	97.7	97.7	97.7	97.7	97.7	97.7	97.7		97.7	500
1	181.2	162.9	157	147	139	134	133	131	128.9	127	54.2	150
2	181.2	162.9	157	149	141	136	134	131	128.9	126.8	54.4	73
3	181.2	162.8	157	149	141	136	134	131	128.8	126.8	54.4	52.5
4	181	162.7	157	149	141	136	134	131	128.9	126.8	54.2	46.2
5	180.9	162.7	157	149	141	136	134	131	128.9	126.7	54.2	41.5
6	180.7	162.7	157	149	141	136	134	131	128.9	126.8	53.9	36
7	180.7	162.7	157	149	141	136	134	131	128.9	126.8	53.9	31
8	180.4	162.6	157	149	141	136	134	131	128.9	126.8	53.6	29.8
9	180.3	162.5	157	149	141	136	134	131	128.9	126.8	53.5	26.5
10	180.4	162.5	157	149	141	136	134	131	128.9	126.8	53.6	26.5
11	180.3	162.4	157	149	141	136	134	131	128.9	126.8	53.5	24.5
12	180.2	162.5	157	149	141	136	134	131	128.9	126.8	53.4	24
13	180.1	162.4	157	149	141	136	134	131	128.9	126.8	53.3	20.2
14	180.1	162.3	157	149	141	136	134	131	128.7	126.6	53.5	20.2
15	180.3	162.4	157	149	141	136	134	131	128.8	126.6	53.7	20.2
16	180.1	162.4	157	149	141	136	134	131	128.7	126.6	53.5	20
17	180	162.3	157	149	141	136	134	131	128.7	126.6	53.5	19.5
18	180	162.2	157	149	141	136	134	131	128.7	126.6	53.4	19.8
19	180	162.4	157	149	141	136	134	131	128.7	126.6	53.4	16.8
20	180	162.4	157	149	141	136	134	131	128.7	126.6	53.4	15.5
21	180	162.3	157	149	141	136	134	131	128.7	126.6	53.4	16.2
22	180.2	162.3	157	149	141	136	134	131	128.7	126.6	53.4	16.5
23	180	162.4	157	149	141	136	134	131	128.7	126.6	53.6	16
24	180.2	162.3	157	149	141	136	134	131	128.7	126.6	53.4	16
25	180	162.4	157	149	141	136	134	131	128.7	126.6	53.6	15

RETROLAVADO DEL FILTRO ORDEN DE TRABAJO 008

Caudal de retrolavado = 65 l/min

Tasa de retrolavado = 1055.62 l/(m²-min)

Tiempo de retrolavado = 28 min.

Volumen de agua consumido = 1820 lt.

Turbiedad de agua para retrolavado = 0.5 UNT

Tiempo Min.	Niveles piezométricos										Total	Turb. UNT
	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	h ₉	h ₁₀		
0	121.2	121.2	121.2	121.2	121.2	121.2	121.2	121.2	121.2	121.2	0.0	450
1	180.6	163.6	157.8	148.8	141.7	135.9	133.6	132	130.1	128.4	52.2	340
2	180.3	163.7	157.8	149.3	141.4	136.1	133.9	132	130.2	128.4	51.9	69
3	180.3	163.7	157.8	149.2	141.4	136.2	133.9	132.1	130.1	128.4	51.9	55
4	180	163.7	157.8	149.2	141.4	136.2	133.9	132.1	130.1	128.4	51.6	47
5	180.1	163.8	157.8	149.2	141.4	136.2	133.9	132.1	130.1	128.4	51.7	42
6	180.2	163.4	157.8	149.2	141.4	136.2	133.9	132.1	130.1	128.4	51.8	38
7	179.8	163.1	157.8	149.2	141.4	136.2	133.9	132.1	130.1	128.4	51.4	35
8	179.8	163.2	157.8	149.2	141.4	136.2	133.9	132.1	130.1	128.4	51.4	32
9	179.8	163.2	157.8	149.2	141.4	136.2	133.9	132.1	130.1	128.4	51.4	29.5
10	179.6	163.3	157.7	149.1	141.3	136.1	133.8	131.9	130	128.2	51.4	29
11	179.3	163.2	157.7	149.1	141.3	136.1	133.8	131.9	130	128.2	51.1	28.5
12	179.3	163.4	157.7	149.1	141.3	136.1	133.8	131.9	130	128.2	51.1	26
13	179.1	163.3	157.7	149.1	141.2	136.1	133.8	131.9	130	128.2	50.9	24.5
14	179.2	163.2	157.7	149.1	141.2	136.1	133.8	131.9	130	128.2	51.0	23
15	179.1	163.1	157.7	149.1	141.2	136.1	133.8	131.9	130	128.2	50.9	21.5
16	179.1	163.1	157.7	149.1	141.2	136.1	133.8	131.9	130	128.2	50.9	21
17	179.1	163.1	157.7	149.1	141.2	136.1	133.8	131.9	130	128.2	50.9	20.5
18	179.1	163.1	157.7	149.1	141.2	136.1	133.8	131.9	130	128.2	50.9	19.5
19	179.2	163	157.7	149.1	141.2	136.1	133.7	131.9	130	128.2	50.9	19
20	179.1	163	157.6	149.1	141.2	136	133.7	131.9	130	128.2	51.0	18.5
21	179.1	163	157.6	149.1	141.2	136	133.7	131.8	130	128.2	50.9	17.5
22	179	163.1	157.6	149.1	141.2	136	133.7	131.8	130	128.2	50.9	17.5
23	179.1	163	157.6	149.1	141.2	136	133.7	131.9	130	128.2	50.8	17
24	178.8	163	157.6	149.1	141.2	136	133.7	131.9	130	128.2	50.9	17
25	178.9	163.1	157.6	149.1	141.2	136	133.7	131.9	130	128.2	50.6	17
26	178.8	163	157.6	149.1	141.2	136	133.7	131.9	130	128.2	50.7	16.8
27	178.9	163	157.6	149.1	141.2	136	133.7	131.9	130	128.2	50.6	16.8
28	178.8	163.1	157.6	149.1	141.2	136	133.7	131.9	130	128.2	50.7	16

ANEXO D.

Base de datos de los análisis de laboratorio: Mn, Cloruros, Cloro residual y color.

Orden de trabajo:001

		color[UPv/Co]	
Hora/análisis.	Tiempo [hr].	Infl	Efl.
22:00	0.00	12.500	7
4:00	6.00	2.500	10
10:00	12.00	2.500	12.5
18:00	20.00	10.000	7.5
1:00	27.00	10.000	5
9:00	35.00	7.500	5
		Mn ²⁺ [mg/l]	
Hora/anál.	Tiempo [hr].	Infl	Efl.
22:00	0.00	0.430	0.016
4:00	6.00	0.400	0.02
10:00	12.00	0.420	0.018
18:00	20.00	0.440	0.4
1:00	27.00	0.404	0.4
9:00	35.00	0.421	0.42

		Cloruros[mg/l]	
Hora/anál.	Tiempo [hr].	Infl	Efl.
22:00	0.00	88.000	104
4:00	6.00	84.000	84
10:00	12.00	82.000	84
18:00	20.00	80.170	76.5
1:00	27.00	87.630	87.6
9:00	35.00	80.180	86

		NaOCl [mg/l]	Cl. libre	Cl. total.
Hora/anál.	Tiempo [hr].	Infl	Efl.	Efl.
22:00	0.00	5.50	0	0
4:00	6.00	6.00	1	1
10:00	12.00	5.50	0.15	0.1
18:00	20.00	5.50	0.2	0.4
1:00	27.00	6.00	0.1	1
9:00	35.00	5.80	0	0.15

COLOR Y MANGANESO DURANTE LA EXPERIMENTACION

orden	Tiempo		Mn ²⁺ [mg/l]			color [UPt/Co]			
	Hora/anál.	Tiempo[hr]	Acum. hr.	Infl	Efl.	Rem. %	Infl	Efl.	Rem%.
orden002	20:00	0.00	0.00			%	####	13	-25.00
	3:00	7.00	7.00	0.432	0.02	95.83	####	10	20.00
	10:00	14.00	14.00	0.360	0.05	86.11	7.50	10	-33.33
	16:00	20.00	20.00	0.350	0.05	85.71	####	5	66.67
	20:00	24.00	24.00	0.390	0.02	95.38	####	5	60.00
orden003	0:00	28.00	28.00	0.400	0.02	95.00	5.00	2.5	50.00
	0:00	0.00	30.00	0.350	0.02	95.43	####	5	60.00
	5:00	5.00	35.00	0.360	0.02	94.44	####	2.5	75.00
	10:00	10.00	40.00	0.380	0.02	95.26	####	2.5	85.71
	17:00	17.00	47.00	0.370	0.02	94.59	7.50	7.5	0.00
orden004	2:00	26.00	56.00	0.350	0.02	94.86	####	7.5	70.00
	10:00	34.00	64.00	0.420	0.02	95.24	####	7.5	40.00
	18:00	0.00	68.00	0.350	0.02	93.71	####	5	60.00
	2:00	8.00	76.00	0.390	0.02	94.87	####	2.5	75.00
	10:00	16.00	84.00	0.200	0.02	91.00	####	7.5	40.00
orden005	18:00	24.00	92.00	0.400	0.02	95.00	####	10	20.00
	2:00	32.00	100.00	0.330	0.02	94.55	####	7.5	25.00
	10:00	40.00	108.00	0.380	0.02	94.74	####	5	50.00
	0:00	0.00	110.00	0.390	0.02	95.38	####	10	0.00
	5:00	5.00	115.00	0.400	0.02	95.00	####	10	20.00
orden006	10:00	10.00	120.00	0.500	0.02	96.40	####	13	0.00
	18:00	18.00	128.00	0.500	0.02	96.00	####	5	50.00
	2:00	26.00	136.00	0.420	0.02	95.71	####	7.5	25.00
	10:00	34.00	144.00	0.400	0.02	95.00	####	7.5	25.00
	18:00	42.00	152.00	0.370	0.02	95.14	####	7.5	25.00
orden007	2:00	50.00	160.00	0.370	0.02	94.59	####	7.5	25.00
	10:00	58.00	168.00	0.380	0.02	95.26	####	5	60.00
	19:00	0.00	170.00	0.330	0.02	94.55	####	2.5	80.00
	3:00	8.00	178.00	0.380	0.02	94.74	####	2.5	75.00
	11:00	16.00	186.00	0.400	0.02	95.50	####	5	60.00
orden008	18:00	23.00	193.00	0.380	0.02	94.74	####	2.5	80.00
	2:00	31.00	201.00	0.370	0.02	95.14	####	2.5	80.00
	10:00	39.00	209.00	0.360	0.02	94.44	7.50	2.5	66.67
	23:00	0.00	210.00	0.310	0.02	94.84	####	2.5	75.00
	3:00	4.00	214.00	0.310	0.02	93.55	####	5	50.00
orden009	7:00	8.00	218.00	0.300	0.02	94.00	####	2.5	75.00
	11:00	12.00	222.00	0.300	0.02	93.33	####	5	50.00
	17:00	18.00	228.00	0.360	0.02	95.00	####	2.5	75.00
	23:00	24.00	234.00	0.400	0.02	95.00	####	2.5	80.00
	2:00	27.00	237.00	0.390	0.02	95.38	####	2.5	75.00
orden010	2:45	28.00	238.00	0.380	0.02	94.74	####	2.5	75.00
	17:00	0.00	240.00	0.290	0.02	93.79	####	2.5	80.77
	23:00	6.00	246.00	0.320	0.02	93.75	####	2.5	75.00
	5:00	12.00	252.00	0.330	0.02	94.55	####	2.5	75.00
	11:00	18.00	258.00	0.310	0.02	93.55	####	2.5	75.00
orden011	17:00	24.00	264.00	0.300	0.02	94.00	####	2.5	75.00
	23:00	30.00	270.00	0.260	0.02	92.31	####	2.5	80.00
	5:00	36.00	276.00	0.280	0.02	93.57	####	2.5	75.00
orden012	11:00	42.00	282.00	0.260	0.02	92.31	####	5	60.00

RESULTADOS DE LABORATORIO DEL CLORO LIBRE Y CLORO RESIDUAL TOTAL EN EL EFLUENTE DEL PROCESO

		tiempo	NaOCl	Cl. libre	Cl. total	Cl. consumido.	
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
	Hora/anál.	Tiempo[hr]	Acum. hr.	Infl	Efl.	Efl.	
orden002	20:00	0.00	0.00	5.50	0.2	0.5	5.00
	3:00	7.00	7.00	6.00	0.4	0.6	5.40
	10:00	14.00	14.00	5.50	0.3	0.7	4.80
	16:00	20.00	20.00	5.50	0.8	0.9	4.60
	20:00	24.00	24.00	5.50	0.2	0.5	5.00
	0:00	28.00	28.00	5.50	0.2	0.5	5.00
orden003	0:00	0.00	30.00	5.50	0.5	0.7	4.80
	5:00	5.00	35.00	5.50	1.1	1.4	4.10
	10:00	10.00	40.00	5.50	0.4	0.65	4.85
	17:00	17.00	47.00	5.50	0.8	1	4.50
	2:00	26.00	56.00	5.50	0.2	0.9	4.60
	10:00	34.00	64.00	5.50	0.1	1	4.50
orden004	18:00	0.00	68.00	5.50	2.3	2.3	3.20
	2:00	8.00	76.00	5.50	1.5	1.88	3.62
	10:00	16.00	84.00	5.50	0.6	1.9	3.60
	18:00	24.00	92.00	5.50	0.33	0.55	4.95
	2:00	32.00	100.00	5.50	0.29	0.63	4.87
	10:00	40.00	108.00	5.50	0.25	0.45	5.05
orden 005	0:00	0.00	110.00	5.50	0.2	0.6	4.90
	5:00	5.00	115.00	5.50	0.1	0.6	4.90
	10:00	10.00	120.00	5.50	0.12	0.14	5.36
	18:00	18.00	128.00	5.50	0.16	0.32	5.18
	2:00	26.00	136.00	5.50	0.2	0.5	5.00
	10:00	34.00	144.00	5.50	0.04	0.27	5.23
	18:00	42.00	152.00	5.50	0.1	0.3	5.20
	2:00	50.00	160.00	5.50	0.3	0.6	4.90
	10:00	58.00	168.00	5.50	0.1	0.2	5.30
orden006	19:00	0.00	170.00	5.50	0.4	1	4.50
	3:00	8.00	178.00	5.50	1.5	1.8	3.70
	11:00	16.00	186.00	5.50	0.5	0.5	5.00
	18:00	23.00	193.00	5.50	0.2	0.7	4.80
	2:00	31.00	201.00	5.50	0.1	0.4	5.10
	10:00	39.00	209.00	5.50	0.4	0.5	5.00
orden007	23:00	0.00	210.00	5.50	0.1	1	4.50
	3:00	4.00	214.00	5.50	0.1	0.4	5.10
	7:00	8.00	218.00	5.50	0.6	0.7	4.80
	11:00	12.00	222.00	5.50	0.6	0.7	4.80
	17:00	18.00	228.00	5.50	0.1	1	4.50
	23:00	24.00	234.00	5.50	0.2	0.6	4.90
	2:00	27.00	237.00	5.50	0.1	0.4	5.10
	2:45	28.00	238.00	5.50	0.1	0.4	5.10
	17:00	0.00	240.00	5.50	0.1	0.3	5.20
orden008	23:00	6.00	246.00	5.50	0.1	0.4	5.10
	5:00	12.00	252.00	5.50	0.3	0.8	4.70
	11:00	18.00	258.00	5.50	1.4	1.5	4.00
	17:00	24.00	264.00	5.50	0.1	0.6	4.90
	23:00	30.00	270.00	5.50	0.1	1	4.50
	5:00	36.00	276.00	5.50	0.1	0.8	4.70

CLORUROS EN EL ELFUENTE DEL PROCESO.

Orden	Tiempo		Cloruros[mg/l]		
	Hora/anál.	Tiempo[hr]	Acum. hr.	Infl. Efl.	
Orden002	20:00	0.00	0.00	96.96	96.96
	3:00	7.00	7.00	95.10	95.1
	10:00	14.00	14.00	84.00	91
	16:00	20.00	20.00	83.90	87.6
	20:00	24.00	24.00	73.60	87.6
	0:00	28.00	28.00	82.00	81
Orden003	0:00	0.00	30.00	87.64	95.1
	5:00	5.00	35.00	91.37	93.9
	10:00	10.00	40.00	87.12	92.5
	17:00	17.00	47.00	84.00	91
	2:00	26.00	56.00	85.00	91
	10:00	34.00	64.00	80.76	85.3
Orden004	18:00	0.00	68.00	83.50	83.5
	2:00	8.00	76.00	83.50	83.5
	10:00	16.00	84.00	84.00	93.5
	18:00	24.00	92.00	83.50	88.9
	2:00	32.00	100.00	88.20	89.8
	10:00	40.00	108.00	86.00	90.8
Orden005	0:00	0.00	110.00	84.35	88.9
	5:00	5.00	115.00	81.69	87.1
	10:00	10.00	120.00	79.90	97
	18:00	18.00	128.00	83.50	85.3
	2:00	26.00	136.00	84.40	87.12
	10:00	34.00	144.00	87.00	93
	18:00	42.00	152.00	85.70	87.5
	2:00	50.00	160.00	87.12	90.8
	10:00	58.00	168.00	86.21	89.8
	19:00	0.00	170.00	75.83	80.77
Orden006	3:00	8.00	178.00	84.40	89.8
	11:00	16.00	186.00	82.00	83.85
	18:00	23.00	193.00	76.00	82
	2:00	31.00	201.00	75.00	84
	10:00	39.00	209.00	75.00	86
	23:00	0.00	210.00	87.00	92.6
Orden007	3:00	4.00	214.00	76.62	76.8
	7:00	8.00	218.00	80.76	85.3
	11:00	12.00	222.00	80.80	85.3
	17:00	18.00	228.00	80.00	85.5
	23:00	24.00	234.00	88.85	94.4
	2:00	27.00	237.00	88.85	75
	2:45	28.00	238.00	85.00	90.7
Orden008	17:00	0.00	240.00	81.50	88.9
	23:00	6.00	246.00	82.40	86.4
	5:00	12.00	252.00	81.60	83.4
	11:00	18.00	258.00	79.00	82
	17:00	24.00	264.00	83.30	87
	23:00	30.00	270.00	88.00	92.6
	5:00	36.00	276.00	87.00	90.7
	11:00	42.00	282.00	87.00	97

ANEXO E

Base de datos del análisis matemático de la hidráulica de retrolavado

1 Porosidad $\epsilon = 0.43$ **ARENA**
 Factor de forma $\phi = 0.780$

densidad arena $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3 = S_s=2.65$

Velocidad de lavado $V_b = 701.68 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

$V_b = 0.00812 \text{ m/s}$ X = fracción en peso de las partículas retenidas

densidad 998 kg/m^3 $d_t = (d_1 + d_2)/2$

Viscosidad $1.31\text{E-}02 \text{ cm}^2/\text{seg}$ $CD = [24/Re] + [3/(Re)^{1/2}] + 0.34$

$$V_s = [(4g/3CD) \cdot (S_s - 1)]^{1/2}$$

$$\epsilon_o = (V_b/V_s)^{0.22}$$

V_{as} = Velocidad de asentamiento de la partícula.

De fig. 9.5

TAMIZ		%peso	X			Reinholds.				poros-exp	
d_1	d_2	retenido	%peso/100	d_t [m]	[cm]	V_{as} (cm/s)	Re	CD	V_s	ϵ_o	$X/(1-\epsilon_o)$
14	20	3.73	0.0373	0.0011	0.113	13	87.460	0.935	0.161	0.5182	0.0773
20	30	46.65	0.4665	0.0007	0.072	11.9	51.012	1.231	0.112	0.5610	1.0626
30	35	43.96	0.4396	0.0005	0.055	10.05	32.909	1.592	0.086	0.5951	1.0856
35	40	2.70	0.0270	0.0005	0.046	9.5	26.018	1.851	0.073	0.6160	0.0702
40	charola	2.50	0.0250	0.0002	0.046					0.5726	$\sum X/(1-\epsilon_o) =$
											2.2957

La profundidad del lecho expandido es=

$$L_e = (1-\epsilon) L \sum [X/(1-\epsilon_o)]$$

$$L_e = 0.2617$$

2 Porosidad $\epsilon = 0.43$ **ARENA**

Factor de forma $\phi = 0.780$

densidad arena $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3 = S_s=2.65$

Velocidad de lavado $V_b = 818.68 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

$V_b = 0.0095 \text{ m/s}$ X = fracción en peso de las partículas retenidas.

densidad 998 kg/m^3 $d_t = (d_1 + d_2)/2$

$$Re_o = (\rho V_{as}/\mu)$$

Viscosidad $1.31\text{E-}02 \text{ cm}^2/\text{seg}$ $CD = [24/Re] + [3/(Re)^{1/2}] + 0.34$

$$V_s = [(4g/3CD) \cdot (S_s - 1)]^{1/2}$$

$$\epsilon_o = (V_b/V_s)^{0.22}$$

V_{as} = Velocidad de asentamiento de la partícula.

De fig. 9.5

TAMIZ		%peso	X			Reinholds.				poros-exp	
d_1	d_2	retenido	%peso/100	d_t [m]	[cm]	V_{as} (cm/s)	Re	CD	V_s	ϵ_o	$X/(1-\epsilon_o)$
14	20	3.73	0.0373	0.0011	0.113	13	87.460	0.935	0.161	0.53644	0.08035647
20	30	46.65	0.4665	0.0007	0.072	11.9	51.012	1.231	0.112	0.5807	1.11256971
30	35	43.96	0.4396	0.0005	0.055	10.05	32.909	1.592	0.086	0.61598	1.14472984
35	40	2.70	0.0270	0.0005	0.046	9.5	26.018	1.851	0.073	0.63766	0.07437819
40	charola	2.50	0.0250	0.0002	0.046					0.5927	$\sum X/(1-\epsilon_o) =$
											2.4120

La profundidad del lecho expandido es=

$$L_e = (1-\epsilon) L \sum [X/(1-\epsilon_o)]$$

$$L_e = 0.2750$$

3

Porosidad $\epsilon = 0.43$ ARENA
 Factor de forma $\phi = 0.780$
 densidad arena $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3 = Ss=2.65$
 Velocidad de lavado $V_b = 936.44 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
 $V_b = 0.0108 \text{ m/s}$ X = fracción en peso de las partículas retenidas.
 densidad $\text{H}_2\text{O} \rho = 998 \text{ kg/m}^3$ $d = (d_1 + d_2)/2$
 Viscosidad $\mu = 0.001 \text{ kg/m} \cdot \text{seg}$; $Re_b = dV_b/\mu$
 $CD = [24/Re_b + 3/(Re_b)^2] + 0.34$
 $V_s = [(4g/3CD) * (Ss - 1)]^{1/2}$
 $c_e = (V_b/V_s)^{0.22}$

De fig. 9.5

TAMIZ		%peso	X	Reinholds						poros-exp	
d ₁	d ₂	retenido	%peso/100	d ₁ [m]	[cm]	V _m (cm/s)	Re	CD	V _s	ϵ_e	$X/(1-\epsilon_e)$
14	20	3.73	0.0373	0.00113	0.113	13	87.460	0.935	0.161	0.5518	0.08310879
20	30	46.65	0.4665	0.00072	0.072	11.9	51.012	1.231	0.112	0.5973	1.15848467
30	35	43.96	0.4396	0.00055	0.055	10.05	32.909	1.592	0.086	0.6336	1.19960533
35	40	2.70	0.0270	0.00046	0.046	9.5	26.018	1.851	0.073	0.6569	0.07832278
40	charola	2.50	0.0250	0.00021	0.046					0.6097	$\sum X/(1-\epsilon_e) =$
											2.5197

La profundidad del lecho expandido es=

$$L_e = (1-\epsilon) L \sum [X/(1-\epsilon_e)]$$

$$L_e = 0.287$$

4

Porosidad $\epsilon = 0.43$ ARENA
 Factor de forma $\phi = 0.780$
 densidad arena $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3 = Ss=2.65$
 Velocidad de lavado $V_b = 1052.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
 $V_b = 0.01218 \text{ m/s}$ X = fracción en peso de las partículas retenidas.
 densidad $\text{H}_2\text{O} \rho = 998 \text{ kg/m}^3$ $d = (d_1 + d_2)/2$
 $Re_b = dV_b/\mu$
 Viscosidad $\mu = 1.31E-02 \text{ cm}^2/\text{seg}$ $CD = [24/Re_b + 3/(Re_b)^2] + 0.34$
 $V_s = [(4g/3CD) * (Ss - 1)]^{1/2}$
 $c_e = (V_b/V_s)^{0.22}$

De fig. 9.5

TAMIZ		%peso	X	Reinholds						poros-exp	
d ₁	d ₂	retenido	%peso/100	d ₁ [m]	[cm]	V _m (cm/s)	Re	CD	V _s	ϵ_e	$X/(1-\epsilon_e)$
14	20	3.73	0.0373	0.00113	0.113	13	87.460	0.935	0.161	0.5666	0.08594527
20	30	46.65	0.4665	0.00072	0.072	11.9	51.012	1.231	0.112	0.6133	1.20646019
30	35	43.96	0.4396	0.00055	0.055	10.05	32.909	1.592	0.086	0.6506	1.25813117
35	40	2.70	0.0270	0.00046	0.046	9.5	26.018	1.851	0.073	0.6735	0.08254076
40	charola	2.50	0.0250	0.00021	0.046					0.6260	$\sum X/(1-\epsilon_e) =$
											2.6331

La profundidad del lecho expandido es=

$$L_e = (1-\epsilon) L \sum [X/(1-\epsilon_e)]$$

$$L_e = 0.3002$$

5 Porosidad $\epsilon = 0.43$ ARENA

Factor de forma $\phi = 0.780$

densidad arena $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3 = S_s = 2.65$

Velocidad de lavado $V_b = 1169.3 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

$V_b = 0.01353 \text{ m/s}$ X = fracción en peso de las partículas retenidas.

densidad $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ $d = (d_1 + d_2)/2$

Viscosidad $1.31E-02 \text{ cm}^2/\text{seg}$ $Re_p = (\rho v_b d / \mu)$
 $CD = [24/Re] + [3/(Re)^{1/2}] + 0.34$
 $V_s = [(4g/3CD) * (S_s - 1)]^{1/2}$

$V_{as} =$ Velocidad de asentamiento de la partícula. $c_s = (V_b/V_s)^{0.22}$ De fig. 9.5

TAMIZ		%peso	X			Reinholds			poros-exp		
d_1	d_2	retenido	%peso/100	d [m]	[cm]	V_m (cm/s)	Re	CD	V_s	c_s	$X/(1-c_s)$
14	20	3.73	0.0373	0.00113	0.113	13	87.460	0.935	0.161	0.5798	0.0887
20	30	46.65	0.4665	0.00072	0.072	11.9	51.012	1.231	0.112	0.6277	1.2530
30	35	43.96	0.4396	0.00055	0.055	10.05	32.909	1.592	0.086	0.6658	1.3154
35	40	2.70	0.0270	0.00046	0.046	9.5	26.018	1.851	0.073	0.6893	0.0867
40	charola	2.50	0.0250	0.00021	0.046					0.6406	$\sum X/(1-c_s) =$
											2.7438

La profundidad del lecho expandido es=

$L_e = (1-c) L \sum [X/(1-c_s)]$

$L_e = 0.313$

6 Porosidad $\epsilon = 0.43$ ARENA

Factor de forma $\phi = 0.780$

densidad arena $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3 = S_s = 2.65$

Velocidad de lavado $V_b = 1286.24 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

$V_b = 0.0149 \text{ m/s}$ X = fracción en peso de las partículas retenidas.

densidad $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ $d = (d_1 + d_2)/2$

Viscosidad $1.31E-02 \text{ cm}^2/\text{seg}$ $Re_p = (\rho v_b d / \mu)$
 $CD = [24/Re] + [3/(Re)^{1/2}] + 0.34$
 $V_s = [(4g/3CD) * (S_s - 1)]^{1/2}$
 $c_s = (V_b/V_s)^{0.22}$

$V_{as} =$ Velocidad de asentamiento de la partícula. De fig. 9.5

TAMIZ		%peso	X			Reinholds			poros-exp		
d_1	d_2	retenido	%peso/100	d [m]	[cm]	V_m (cm/s)	Re	CD	V_s	c_s	$X/(1-c_s)$
14	20	3.73	0.0373	0.00113	0.113	13	87.460	0.935	0.161	0.5823	0.0914
20	30	46.65	0.4665	0.00072	0.072	11.9	51.012	1.231	0.112	0.6411	1.3000
30	35	43.96	0.4396	0.00055	0.055	10.05	32.909	1.592	0.086	0.6801	1.3741
35	40	2.70	0.0270	0.00046	0.046	9.5	26.018	1.851	0.073	0.7040	0.0911
40	charola	2.50	0.0250	0.00021	0.046					0.6544	$\sum X/(1-c_s) =$
											2.8565

La profundidad del lecho expandido es=

$L_e = (1-c) L \sum [X/(1-c_s)]$

$L_e = 0.3256$

7 Porosidad $\epsilon = 0.43$ ARENA
 Factor de forma $\phi = 0.780$
 densidad arena $\rho_s = 2660 \text{ kg/m}^3 = Ss=2.65$
 Velocidad de lavado $V_b = 1403.16 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
 $V_b = 0.01624 \text{ m/s}$ X = fracción en peso de las partículas retenidas
 densidad $\text{H}_2\text{O} \rho = 998 \text{ kg/m}^3$ $d = (d_1 + d_2)/2$
 Viscosidad $\nu = 1.31\text{E-}02 \text{ cm}^2/\text{seg}$ $Re_d = (dV_b/\nu)$

$$CD = 24/Re + 3/(Re)^2 + 0.34$$

$$V_s = [(4g/3CD) * (Ss - 1)]^{1/2}$$

V_{as} = Velocidad de asentamiento de la partícula

$$c_w = (V_b/V_s)^{0.22}$$

De fig. 9.5

TAMIZ		%peso	X			Reinholds				poros-exp	
d_1	d_2	retenido	(%peso/100)	d [m]	[cm]	V_{as} (cm/s)	Re	CD	V_s	c_w	$X/(1-c_w)$
14	20	3.73	0.0373	0.001125	0.113	13	87.460	0.935	0.161	0.6036	0.0940
20	30	46.65	0.4665	0.00072	0.072	11.9	51.012	1.231	0.112	0.6534	1.3459
30	35	43.96	0.4396	0.000545	0.055	10.05	32.909	1.592	0.086	0.6931	1.4324
35	40	2.70	0.0270	0.000463	0.046	9.5	26.018	1.851	0.073	0.7175	0.0954
40	charola	2.50	0.0250	0.00021	0.046					0.6669	$\sum X/(1-c_w) =$
											2.9677

La profundidad del lecho expandido es=

$$L_e = (1-\epsilon) L \sum [X/(1-\epsilon_w)]$$

$$L_e = 0.338$$

8 Porosidad $\epsilon = 0.43$ ARENA
 Factor de forma $\phi = 0.780$
 densidad arena $\rho_s = 2660 \text{ kg/m}^3 = Ss=2.65$
 Velocidad de lavado $V_b = 1820 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
 $V_b = 0.01759 \text{ m/s}$ X = fracción en peso de las partículas retenidas
 densidad $\text{H}_2\text{O} \rho = 998 \text{ kg/m}^3$ $d = (d_1 + d_2)/2$
 Viscosidad $\nu = 1.31\text{E-}02 \text{ cm}^2/\text{seg}$ $Re_d = (dV_b/\nu)$

$$CD = 24/Re + 3/(Re)^2 + 0.34$$

$$V_s = [(4g/3CD) * (Ss - 1)]^{1/2}$$

$$c_w = (V_b/V_s)^{0.22}$$

V_{as} = Velocidad de asentamiento de la partícula

De fig. 9.5

TAMIZ		%peso	X			Reinholds				poros-exp	
d_1	d_2	retenido	(%peso/100)	d [m]	[cm]	V_{as} (cm/s)	Re	CD	V_s	c_w	$X/(1-c_w)$
14	20	3.73	0.0373	0.001125	0.113	13	87.460	0.935	0.161	0.6143	0.0966
20	30	46.65	0.4665	0.00072	0.072	11.9	51.012	1.231	0.112	0.6650	1.3925
30	35	43.96	0.4396	0.000545	0.055	10.05	32.909	1.592	0.086	0.7054	1.4921
35	40	2.70	0.0270	0.000463	0.046	9.5	26.018	1.851	0.073	0.7302	0.0999
40	charola	2.50	0.0250	0.00021	0.046					0.6787	$\sum X/(1-c_w) =$
											3.0611

La profundidad del lecho expandido es=

$$L_e = (1-\epsilon) L \sum [X/(1-\epsilon_w)]$$

$$L_e = 0.3512$$

9 Porosidad $\epsilon = 0.43$ ARENA
 Factor de forma $\phi = 0.780$
 densidad arena $\rho_s = 2860 \text{ kg/m}^3 = S_s = 2.65$
 Velocidad de lavado $V_b = 1637.02 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
 $V_b = 0.019 \text{ m/s}$ X = fracción en peso de las partículas retenidas.
 densidad 998 kg/m^3 $d = (d_1 + d_2)/2$
 Viscosidad $1.31E-02 \text{ cm}^2/\text{seg}$ $Re_d = (\rho_s d V_b / \mu)$
 $CD = [24 Re_d + 3 (Re_d)^{1/2}] + 0.34$
 $V_s = [(4g CD) (S_s - 1)]^{1/2}$

$V_{as} =$ Velocidad de asentamiento de la partícula $v_s = (V_b V_s)^{0.22}$ De fig. 9.5

TAMIZ		%peso	X	Reinholds				poros-exp			
d_1	d_2	retenido	(%peso/100)	d [m]	[cm]	V_{as} (cm/s)	Re	CD	V_s	v_s	$X/(1-v_s)$
14	20	3.73	0.0373	0.001125	0.113	13	87.460	0.935	0.161	0.6248	0.0993
20	30	46.65	0.4665	0.00072	0.072	11.9	51.012	1.231	0.112	0.6764	1.4414
30	35	43.96	0.4396	0.000545	0.055	10.05	32.909	1.592	0.086	0.7175	1.5558
35	40	2.70	0.0270	0.0004625	0.046	9.5	26.018	1.851	0.073	0.7427	0.1047
40	charola	2.50	0.0250	0.00021	0.046					0.6903	$\sum X/(1-v_s) =$
											3.2013

La profundidad del lecho expandido es=

$L_e = (1-\epsilon) L \sum [X/(1-v_s)]$
 $L_e = 0.365$

10 Porosidad $\epsilon = 0.43$ ARENA
 Factor de forma $\phi = 0.780$
 densidad arena $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3 = S_s = 2.65$
 Velocidad de lavado $V_b = 1763.9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
 $V_b = 0.203 \text{ m/s}$ X = fracción en peso de las partículas retenidas.
 densidad 998 kg/m^3 $d = (d_1 + d_2)/2$
 Viscosidad $1.31E-02 \text{ cm}^2/\text{seg}$ $Re_d = (\rho_s d V_b / \mu)$
 $CD = [24 Re_d + 3 (Re_d)^{1/2}] + 0.34$
 $V_s = [(4g CD) (S_s - 1)]^{1/2}$
 $v_s = (V_b V_s)^{0.22}$

$V_{as} =$ Velocidad de asentamiento de la partícula De fig. 9.5

TAMIZ		%peso	X	Reinholds				poros-exp			
d_1	d_2	retenido	(%peso/100)	d [m]	[cm]	V_{as} (cm/s)	Re	CD	V_s	v_s	$X/(1-v_s)$
14	20	3.73	0.0373	0.001125	0.113	13	87.460	0.935	0.161	0.6340	0.1018
20	30	46.65	0.4665	0.00072	0.072	11.9	51.012	1.231	0.112	0.6863	1.4870
30	35	43.96	0.4396	0.000545	0.055	10.05	32.909	1.592	0.086	0.7280	1.6160
35	40	2.70	0.0270	0.0004625	0.046	9.5	26.018	1.851	0.073	0.7536	0.1094
40	charola	2.50	0.0250	0.00021	0.046					0.7005	$\sum X/(1-v_s) =$
											3.3142

La profundidad del lecho expandido es=

$L_e = (1-\epsilon) L \sum [X/(1-v_s)]$
 $L_e = 0.3778$

1 Porosidad $\epsilon = 0.48$ **ANTRACITA**

Factor de forma $\phi = 0.460$
 densidad antracita $\rho_s = 1500 \text{ kg/m}^3 = Ss=1.50$
 Velocidad de lavado $V_b = 701.68 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

$V_b = 0.00812 \text{ m/s}$ $X =$ fracción en peso de las partículas retenidas.
 densidad $H_2O = 998 \text{ kg/m}^3$ $d = (d_1 + d_2)/2$
 Viscosidad $\mu = 1.31E-02 \text{ cm}^2/\text{seg}$ $CD = [24/Re] + [3/(Re)^{1.5}] + 0.34$ $Re_s(dV_b/\mu)$
 $V_s = [(4g/3CD) * (Ss - 1)]^{1/2}$
 $c_w = (V_b/V_s)^{0.22}$

$V_{as} =$ Velocidad de asentamiento de la partícula De fig. 9.5

TAMIZ		%peso	X	Reinholds.						poros-exp	
d_1	d_2	retenido	%peso/100	d_i [m]	[cm]	V_{as} (cm/s)	Re	CD	V_s	ϵ_w	$X/(1-\epsilon_w)$
6	10	11.770	0.118	0.0027	0.268	12.4	116.684	0.823	0.146	0.5297	0.2503
10	12	27.705	0.277	0.0018	0.184	11	71.066	1.034	0.108	0.5660	0.6384
12	14	36.290	0.363	0.0015	0.1545	10.5	56.960	1.159	0.093	0.5843	0.8730
14	20	17.395	0.174	0.0011	0.1125	9.8	38.711	1.442	0.071	0.6198	0.4575
20	22	1.760	0.018	0.0008	0.0836	6.4	18.775	2.311	0.049	0.6745	0.0541
22	30	0.305	0.003	0.0007	0.071	6	14.958	2.720	0.041	0.6991	0.0101
30	40	0.145	0.001	0.0005	0.0505	3.5	6.206	5.411	0.025	0.7829	0.0067
40	charola	0.100	0.001	0.0002	0.021					0.6366	$\sum X/(1-\epsilon_w) =$
											2.2901

La profundidad del lecho expandido es=

$L_e = (1-\epsilon) L \sum [X/(1-\epsilon_w)]$

$L_e = 0.4783$

2 Porosidad $\epsilon = 0.48$ **ANTRACITA**

Factor de forma $\phi = 0.460$
 densidad arena $\rho_s = 1500 \text{ kg/m}^3 = Ss=1.50$
 Velocidad de lavado $V_b = 818.68 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

$V_b = 0.0095 \text{ m/s}$ $X =$ fracción en peso de las partículas retenidas.
 densidad $H_2O = 998 \text{ kg/m}^3$ $d = (d_1 + d_2)/2$
 $Re_s(dV_b/\mu)$
 Viscosidad $\mu = 1.31E-02 \text{ cm}^2/\text{seg}$ $CD = [24/Re] + [3/(Re)^{1.5}] + 0.34$
 $V_s = [(4g/3CD) * (Ss - 1)]^{1/2}$
 $c_w = (V_b/V_s)^{0.22}$

$V_{as} =$ Velocidad de asentamiento de la partícula De fig. 9.5

TAMIZ		%peso	X	Reinholds.						poros-exp	
d_1	d_2	retenido	%peso/100	d_i [m]	[cm]	V_{as} (cm/s)	Re	CD	V_s	ϵ_w	$X/(1-\epsilon_w)$
6	10	11.770	0.118	0.0027	0.268	12.4	116.684	0.823	0.146	0.5483	0.2606
10	12	27.705	0.277	0.0018	0.184	11	71.066	1.034	0.108	0.5669	0.6691
12	14	36.290	0.363	0.0015	0.1545	10.5	56.960	1.159	0.093	0.6048	0.9184
14	20	17.395	0.174	0.0011	0.1125	9.8	38.711	1.442	0.071	0.6416	0.4853
20	22	1.760	0.018	0.0008	0.0836	6.4	18.775	2.311	0.049	0.6982	0.0583
22	30	0.305	0.003	0.0007	0.071	6	14.958	2.720	0.041	0.7237	0.0110
30	40	0.145	0.001	0.0005	0.0505	3.5	6.206	5.411	0.025	0.8104	0.0076
40	charola	0.100	0.001	0.0002	0.021					0.6590	$\sum X/(1-\epsilon_w) =$
											2.4103

La profundidad del lecho expandido es=

$L_e = (1-\epsilon) L \sum [X/(1-\epsilon_w)]$

$L_e = 0.5013$

3 Porosidad $\epsilon = 0.48$
 Factor de forma $\phi = 0.460$ **ANTRACITA**
 densidad arena $\rho_s = 1600 \text{ kg/m}^3 = S_s = 1.60$
 Velocidad de lavado $V_b = 936.44 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{q})$
 $V_b = 0.0108 \text{ m/s}$
 densidad $\text{H}_2\text{O} \rho = 998 \text{ kg/m}^3$
 Viscosidad $\mu = 0.001 \text{ kg/m} \cdot \text{seg}$

$X =$ fracción en peso de las partículas retenidas
 $d = (d_1 + d_2)/2$
 $Re_s = (\rho_s V_b d / \mu)$
 $CD = (24/Re_s) + (3/Re_s)^{1.75} + 0.34$
 $V_s = [(4g/3CD)(S_s - 1)]^{1/2}$
 $\epsilon_s = (V_b/V_s)^{2.2}$

De fig. 95

TAMZ		% peso	X			Reinholds				poros-exp	
d_1	d_2	retenido	(% peso/100)	d [m]	[cm]	V_{ms} [cm/s]	Re	CD	V_s	ϵ_s	$X/(1-\epsilon_s)$
6	10	11.70	0.118	0.00268	0.268	12.4	116.684	0.823	0.146	0.5640	0.2699
10	12	27.05	0.277	0.00184	0.184	11	71.066	1.034	0.108	0.6027	0.6973
12	14	36.290	0.363	0.001546	0.1546	10.5	56.960	1.159	0.098	0.6222	0.9605
14	20	17.395	0.174	0.001125	0.1125	9.8	38.711	1.442	0.071	0.6889	0.5115
20	22	1.760	0.018	0.0008365	0.08365	6.4	18.775	2.311	0.049	0.7182	0.0325
22	30	0.305	0.003	0.00071	0.071	6	14.968	2.720	0.041	0.7444	0.0119
30	40	0.145	0.001	0.000565	0.0565	3.5	6.206	5.411	0.025	0.8336	0.0087
40	charola	0.100	0.001	0.00021	0.021					0.6778	$X/(1-\epsilon_s) =$
											2.6223

La profundidad del lecho expandido es=
 $L_e = (1-\epsilon) L \sum X / (1-\epsilon_s)$
 $L_e = 0.825$

4 Porosidad $\epsilon = 0.48$
 Factor de forma $\phi = 0.460$ **ANTRACITA**
 densidad arena $\rho_s = 1600 \text{ kg/m}^3 = S_s = 1.60$
 Velocidad de lavado $V_b = 1082.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{q})$
 $V_b = 0.01218 \text{ m/s}$
 densidad $\text{H}_2\text{O} \rho = 998 \text{ kg/m}^3$
 Viscosidad $\nu = 1.315 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{seg}$

$X =$ fracción en peso de las partículas retenidas
 $d = (d_1 + d_2)/2$
 $Re_s = (\rho_s V_b d / \mu)$
 $CD = (24/Re_s) + (3/Re_s)^{1.75} + 0.34$
 $V_s = [(4g/3CD)(S_s - 1)]^{1/2}$
 $\epsilon_s = (V_b/V_s)^{2.2}$

De fig. 95

TAMZ		% peso	X			Reinholds				poros-exp	
d_1	d_2	retenido	(% peso/100)	d [m]	[cm]	V_{ms} [cm/s]	Re	CD	V_s	ϵ_s	$X/(1-\epsilon_s)$
6	10	11.70	0.118	0.00268	0.268	12.4	116.684	0.823	0.146	0.5791	0.2796
10	12	27.05	0.277	0.00184	0.184	11	71.066	1.034	0.108	0.6188	0.7289
12	14	36.290	0.363	0.001546	0.1546	10.5	56.960	1.159	0.098	0.6388	1.0048
14	20	17.395	0.174	0.001125	0.1125	9.8	38.711	1.442	0.071	0.6776	0.5396
20	22	1.760	0.018	0.0008365	0.08365	6.4	18.775	2.311	0.049	0.7374	0.0570
22	30	0.305	0.003	0.00071	0.071	6	14.968	2.720	0.041	0.7644	0.0129
30	40	0.145	0.001	0.000565	0.0565	3.5	6.206	5.411	0.025	0.6889	0.0101
40	charola	0.100	0.001	0.00021	0.021					0.6860	$X/(1-\epsilon_s) =$
											2.6409

La profundidad del lecho expandido es=
 $L_e = (1-\epsilon) L \sum X / (1-\epsilon_s)$
 $L_e = 0.6493$

5 Porosidad $\epsilon = 0.48$ ANTRACITA
 Factor de forma $\phi = 0.460$
 densidad arena $\rho_s = 1500 \text{ kg/m}^3 = S_s = 1.50$
 Velocidad de lavado $V_b = 1199.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
 $V_b = 0.01353 \text{ m/s}$
 densidad $\text{H}_2\text{O } \rho = 998 \text{ kg/m}^3$
 Viscosidad $\nu = 1.31\text{E-}02 \text{ cm}^2/\text{seg}$

X = fracción en peso de las partículas retenidas.

$d = (d_1 + d_2)/2$

$Re = (\rho_s d V_b) / \mu$

$CD = [24 Re] / (3 + (Re)^{1.5}) \cdot 0.34$

$V_s = [(4g/3CD)(S_s - 1)]^{1/2}$

$\epsilon_c = (N_b V_b)^{0.72}$

De fig. 9.5

V_s = Velocidad de asentamiento de la partícula.

TAMIZ	d_1	d_2	%peso retenido	X (%peso/100)	d [m]	[cm]	Reinholds V_b (cm/s)	Re	CD	V_s	poros-exp ϵ_c	$X/(1-\epsilon_c)$
6	10	11.770	0.118	0.00268	0.268	12.4	116.684	0.823	0.146	0.9626	0.2889	
10	12	27.705	0.277	0.00184	0.184	11	71.066	1.034	0.108	0.6333	0.7556	
12	14	36.290	0.363	0.001545	0.1545	10.5	56.960	1.159	0.083	0.6538	1.0482	
14	20	17.395	0.174	0.001125	0.1125	9.8	38.711	1.442	0.071	0.6835	0.9875	
20	22	1.780	0.018	0.000365	0.0365	6.4	18.775	2.311	0.049	0.7547	0.0717	
22	30	0.305	0.003	0.00071	0.071	6	14.958	2.720	0.041	0.7822	0.0140	
30	40	0.145	0.001	0.000505	0.0505	3.5	6.206	5.411	0.025	0.8759	0.0117	
40	charola	0.100	0.001	0.00021	0.021							
											0.7123	$\sum X/(1-\epsilon_c) =$
												2.7676

La profundidad del lecho expandido es:

$L_e = (1-\epsilon) L \sum X/(1-\epsilon_c)$

$L_e = 0.574$

6 Porosidad $\epsilon = 0.48$ ANTRACITA
 Factor de forma $\phi = 0.460$
 densidad arena $\rho_s = 1500 \text{ kg/m}^3 = S_s = 1.50$
 Velocidad de lavado $V_b = 1286.24 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
 $V_b = 0.0149 \text{ m/s}$
 densidad $\text{H}_2\text{O } \rho = 998 \text{ kg/m}^3$
 Viscosidad $\nu = 1.31\text{E-}02 \text{ cm}^2/\text{seg}$

X = fracción en peso de las partículas retenidas.

$d = (d_1 + d_2)/2$

$Re = (\rho_s d V_b) / \mu$

$CD = [24 Re] / (3 + (Re)^{1.5}) \cdot 0.34$

$V_s = [(4g/3CD)(S_s - 1)]^{1/2}$

$\epsilon_c = (N_b V_b)^{0.72}$

De fig. 9.5

V_s = Velocidad de asentamiento de la partícula.

TAMIZ	d_1	d_2	%peso retenido	X (%peso/100)	d [m]	[cm]	Reinholds V_b (cm/s)	Re	CD	V_s	poros-exp ϵ_c	$X/(1-\epsilon_c)$
6	10	11.770	0.118	0.00268	0.268	12.4	116.684	0.823	0.146	0.6054	0.2982	
10	12	27.705	0.277	0.00184	0.184	11	71.066	1.034	0.108	0.6469	0.7846	
12	14	36.290	0.363	0.001545	0.1545	10.5	56.960	1.159	0.083	0.6578	1.0324	
14	20	17.395	0.174	0.001125	0.1125	9.8	38.711	1.442	0.071	0.7084	0.9864	
20	22	1.780	0.018	0.000365	0.0365	6.4	18.775	2.311	0.049	0.7709	0.0768	
22	30	0.305	0.003	0.00071	0.071	6	14.958	2.720	0.041	0.7990	0.0152	
30	40	0.145	0.001	0.000505	0.0505	3.5	6.206	5.411	0.025	0.8947	0.0138	
40	charola	0.100	0.001	0.00021	0.021							
											0.7276	$\sum X/(1-\epsilon_c) =$
												2.8776

La profundidad del lecho expandido es:

$L_e = (1-\epsilon) L \sum X/(1-\epsilon_c)$

$L_e = 0.6886$

7

Porosidad $\epsilon = 0.48$ **ANTRACITA**
 Factor de forma $\phi = 0.460$
 densidad arena $\rho_s = 1500 \text{ kg/m}^3 = S_s = 1.50$
 Velocidad de lavado $V_b = 1403.1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
 $V_b = 0.01624 \text{ m/s}$
 densidad H_2O $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$
 Viscosidad $\mu = 1.315 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{seg}$

$X =$ fracción en peso de las partículas retenidas.
 $d = (d_1 + d_2)/2$
 $Re = (\rho V_b d / \mu)$
 $CD = (24/Re) + (3/Re)^{1/2} + 0.34$
 $V_s = [(4g/CD)(S_s - 1)]^{1/2}$

$V_s =$ Velocidad de asentamiento de la partícula

$\epsilon_c = (V_b/V_s)^{2.2}$

De fig. 9.5

TAMIZ	d_1	d_2	%peso retenido	X (%peso/100)	d [m]	[cm]	Reinholds V_m (cm/s)	Re	CD	V_s	poros-exp ϵ_c	$X/(1-\epsilon_c)$
6	10	11.770	0.118	0.118	0.00268	0.268	12.4	116.684	0.823	0.146	0.6169	0.3073
10	12	27.705	0.277	0.277	0.00184	0.184	11	71.066	1.034	0.108	0.6593	0.8131
12	14	36.290	0.363	0.363	0.001546	0.1546	10.5	56.980	1.159	0.093	0.6906	1.1361
14	20	17.395	0.174	0.001125	0.01125	0.1125	9.8	38.71	1.442	0.071	0.7219	0.6255
20	22	1.760	0.018	0.0008365	0.08365	0.08365	6.4	18.775	2.311	0.049	0.7855	0.0621
22	30	0.305	0.003	0.00071	0.071	0.071	6	14.958	2.720	0.041	0.8143	0.0164
30	40	0.145	0.001	0.000505	0.0505	0.0505	3.5	6.206	5.411	0.025	0.9118	0.0164
40	charola	0.100	0.001	0.00021	0.021	0.021					0.7415	$X/(1-\epsilon_c) =$
												2.9669

La profundidad del lecho expandido es=

$L_e = (1-\epsilon) L \sum X/(1-\epsilon_c)$

$L_e = 0.623$

8

Porosidad $\epsilon = 0.48$ **ANTRACITA**
 Factor de forma $\phi = 0.460$
 densidad arena $\rho_s = 1500 \text{ kg/m}^3 = S_s = 1.50$
 Velocidad de lavado $V_b = 1620 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
 $V_b = 0.01759 \text{ m/s}$
 densidad H_2O $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$
 Viscosidad $\mu = 1.315 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{seg}$

$X =$ fracción en peso de las partículas retenidas.
 $d = (d_1 + d_2)/2$
 $Re = (\rho V_b d / \mu)$
 $CD = (24/Re) + (3/Re)^{1/2} + 0.34$
 $V_s = [(4g/CD)(S_s - 1)]^{1/2}$
 $\epsilon_c = (V_b/V_s)^{2.2}$

$V_s =$ Velocidad de asentamiento de la partícula

De fig. 9.5

TAMIZ	d_1	d_2	%peso retenido	X (%peso/100)	d [m]	[cm]	Reinholds V_m (cm/s)	Re	CD	V_s	poros-exp ϵ_c	$X/(1-\epsilon_c)$
6	10	11.770	0.118	0.118	0.00268	0.268	12.4	116.684	0.823	0.146	0.6279	0.3163
10	12	27.705	0.277	0.277	0.00184	0.184	11	71.066	1.034	0.108	0.6710	0.8420
12	14	36.290	0.363	0.363	0.001546	0.1546	10.5	56.980	1.159	0.093	0.6926	1.1807
14	20	17.395	0.174	0.001125	0.01125	0.1125	9.8	38.71	1.442	0.071	0.7347	0.6557
20	22	1.760	0.018	0.0008365	0.08365	0.08365	6.4	18.775	2.311	0.049	0.7935	0.0678
22	30	0.305	0.003	0.00071	0.071	0.071	6	14.958	2.720	0.041	0.8287	0.0178
30	40	0.145	0.001	0.000505	0.0505	0.0505	3.5	6.206	5.411	0.025	0.9280	0.0201
40	charola	0.100	0.001	0.00021	0.021	0.021					0.7546	$X/(1-\epsilon_c) =$
												3.1204

La profundidad del lecho expandido es=

$L_e = (1-\epsilon) L \sum X/(1-\epsilon_c)$

$L_e = 0.6490$

9 Porosidad $\epsilon = 0.48$ **ANTRACITA**
 Factor de forma $\phi = 0.460$
 densidad arena $\rho_s = 1500 \text{ kg/m}^3 = S_s = 1.50$
 Velocidad de lavado $V_b = 1637.02 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$
 $V_b = 0.019 \text{ m/s}$ X = fracción en peso de las partículas retenidas
 densidad H₂O $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ $d = (d_1 + d_2)/2$
 Viscosidad $\nu = 1.31E-02 \text{ cm}^2/\text{seg}$ $Re = (\rho d V_b / \mu)$
 $CD = (24/Re) - (3/Re)^2 + 0.34$
 $V_s = [(4g/CD)(\rho_s - \rho)]^{-1/2}$

Vas = Velocidad de asentamiento de la partícula $v_s = (V_b V_s)^{2/3}$ De fig 9.5

TAMIZ	d ₁	d ₂	%peso retenido	X (%peso/100)	d [m]	[cm]	Reinholds V _{as} (cm/s)	Re	CD	V _s	poros-exp ϵ_e	$x/(1-\epsilon_e)$
6	10	11.770	0.118	0.00268	0.268	12.4	116.684	0.823	0.146	0.6386	0.3257	
10	12	27.705	0.277	0.00184	0.184	11	71.066	1.034	0.108	0.6624	0.8724	
12	14	36.290	0.363	0.001545	0.1545	10.5	56.960	1.159	0.093	0.7045	1.2280	
14	20	17.395	0.174	0.001125	0.1125	9.8	38.711	1.442	0.071	0.7473	0.6883	
20	22	1.760	0.018	0.0008355	0.08355	6.4	18.775	2.311	0.049	0.8132	0.0942	
22	30	0.305	0.003	0.00071	0.071	6	14.958	2.720	0.041	0.8429	0.0194	
30	40	0.145	0.001	0.000505	0.0505	3.5	6.206	5.411	0.025	0.9439	0.0258	
40	charola	0.100	0.001	0.00021	0.021						0.7675	$\sum x/(1-\epsilon_e) = 3.2539$

La profundidad del lecho expandido es=
 $L_e = (1-\epsilon) L \sum [x/(1-\epsilon_e)]$
 $L_e = 0.677$

10 Porosidad $\epsilon = 0.48$ **ANTRACITA**
 Factor de forma $\phi = 0.460$
 densidad arena $\rho_s = 1500 \text{ kg/m}^3 = S_s = 1.50$
 Velocidad de lavado $V_b = 1753.9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$
 $V_b = 0.203 \text{ m/s}$ X = fracción en peso de las partículas retenidas.
 densidad H₂O $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ $d = (d_1 + d_2)/2$
 Viscosidad $\nu = 1.31E-02 \text{ cm}^2/\text{seg}$ $Re = (\rho d V_b / \mu)$
 $CD = (24/Re) - (3/Re)^2 + 0.34$
 $V_s = [(4g/CD)(\rho_s - \rho)]^{-1/2}$
 $v_s = (V_b V_s)^{2/3}$

Vas = Velocidad de asentamiento de la partícula De fig 9.5

TAMIZ	d ₁	d ₂	%peso retenido	X (%peso/100)	d [m]	[cm]	Reinholds V _{as} (cm/s)	Re	CD	V _s	poros-exp ϵ_e	$x/(1-\epsilon_e)$
6	10	11.770	0.118	0.00268	0.268	12.4	116.684	0.823	0.146	0.6480	0.3344	
10	12	27.705	0.277	0.00184	0.184	11	71.066	1.034	0.108	0.6924	0.9009	
12	14	36.290	0.363	0.001545	0.1545	10.5	56.960	1.159	0.093	0.7148	1.2725	
14	20	17.395	0.174	0.001125	0.1125	9.8	38.711	1.442	0.071	0.7582	0.7195	
20	22	1.760	0.018	0.0008355	0.08355	6.4	18.775	2.311	0.049	0.8251	0.1007	
22	30	0.305	0.003	0.00071	0.071	6	14.958	2.720	0.041	0.8553	0.0211	
30	40	0.145	0.001	0.000505	0.0505	3.5	6.206	5.411	0.025	0.9577	0.0343	
40	charola	0.100	0.001	0.00021	0.021						0.7788	$\sum x/(1-\epsilon_e) = 3.3832$

La profundidad del lecho expandido es=
 $L_e = (1-\epsilon) L \sum [x/(1-\epsilon_e)]$
 $L_e = 0.7037$