

# Tratamiento del agua para Hemodiálisis

L. Pérez, F. Coll, J. Andrés  
Supervisora de HD Domiciliaria  
Unidad de Hemodiálisis  
Hospital Sant Gervasi de Barcelona  
Extraído del libro de apuntes del "IX Curso de diálisis para enfermería"  
(J. Andrés y cols. 1.978)

## Introducción

Hoy en día, la necesidad de tratar el agua de la red pública para usada en Hemodiálisis, es un concepto ampliamente aceptado. No obstante, no todos los tratamientos serán iguales. En función del agua que vamos a tratar y que en todos casos deberá conseguir un agua químicamente pura, los métodos usados variarán según necesidades.

El uso de agua purificada cumple dos objetivos básicos. El primero y principal, conseguir un dializado homogéneo y exento de sustancias perjudiciales para el paciente, y en segundo lugar proteger a los equipos de Hemodiálisis de sustancias que pudieran dañarlos.

Actualmente, la mayoría de sustancias que pueden encontrarse en el agua de la red y que pudieran ocasionar alteraciones a los pacientes o daños a los equipos, son perfectamente conocidas, y el conocimiento de su presencia determinará el método de depuración a emplear.

## Contaminantes

En las plantas de tratamiento de aguas de las sociedades de cada ciudad, se vigila muy de cerca el control bacteriológico del agua, y el empleo del cloro para este menester está ampliamente aceptado. El cloro empleado en el agua desinfectada, se denomina "cloro activo" (cloro total) y es la suma del cloro elemental y sus componentes desinfectantes. El cloro activo comprende el "cloro activo ligero", que es la parte que en el agua existe en forma de cloro libre, ácido hipocloroso o iones hipoclorito, y el "cloro activo combinado", que se compone de cloraminas inorgánicas y orgánicas, las cuales como sustancias oxidantes, tam-

bién contribuyen a la desinfección.

Una cantidad de cloro superior a 0,5 mg/l o de 0,1 mg/l de cloraminas, puede desnaturalizar la hemoglobina llegando incluso a producir anemia hemolítica aguda.

Tanto el cloro como las cloraminas, se eliminan pasando el agua por un filtro de carbón activo.

Las reacciones febriles también serán frecuentes si el agua contiene pirógenos o endotoxinas, cuya presencia será debida a una probable contaminación bacteriana. Una presencia superior a 200/ml puede ser peligrosa.

Los pirógenos o endotoxinas y la materia orgánica puede extraerse del agua utilizando filtros de carbón activo o bien mediante ultrafiltración con una membrana semipermeable con el poro de 20-200 angstroms.

No obstante, para que los cartuchos de ultrafiltración y los de ósmosis inversa tengan un rendimiento óptimo, es conveniente eliminar previamente el contenido coloidal mediante filtros de diatomeas o de lechos de sílex con la ayuda de sustancias coagulantes, aunque evitando las sales aluminicas.

La presencia en la red de distribución de partículas de materia inorgánica, puede producir el deterioro del equipo de tratamiento del agua. Es aconsejable la protección del equipo con filtros de sedimentación de 10 y 5  $\mu$ m.

Si las concentraciones de calcio y magnesio del dializado, son superiores a las concentraciones de estos elementos difusibles del plasma normal, durante la diálisis y después de ella, puede aparecer el síndrome del agua dura (hipercalcemia, hipermagnesemia). Se eliminará el calcio y el magnesio con el empleo de desendurecedores (descalcificadores).

Las cantidades permitidas para utilizar en hemodiálisis son 0,1

mEq/l para el Ca y 0,3 mEq/l para el Mg.

El contenido de cobre no debe sobrepasar la cantidad de 0,1 mg/l pues cantidades superiores pueden producir anemia hemolítica. La presencia de cobre es debida al empleo de sulfato de cobre para matar algas, y el paso del agua ya tratada por cañerías de cobre, pues el agua en esas condiciones es corrosiva. Su eliminación se produce por ósmosis inversa o desionización.

La presencia de hierro y magnesio en cantidades superiores a las permitidas, puede dañar a los equipos y no es aconsejable una cantidad superior a 0,2 mg/l. Su eliminación se produce con el empleo de desendurecedores.

El empleo de sulfatos de aluminio para procesos de coagulación, con presencia del aluminio en el agua en cantidades superiores a 0,1 mg/l puede causar demencia dialítica, aprensión y deterioro neurológico. Se elimina mediante ósmosis inversa o desionización.

Si para almacenar agua empleamos tanques galvanizados, que pueden causar la presencia de zinc en cantidades superiores a 0,1 mg/l éste puede causar anemia, vómitos, fiebre,...

La fluorización del agua para prevenir las caries dental es utilizada en muchos países y una presencia de fluoruros superior a 0,1 mg/l puede provocar a largo plazo enfermedades óseas (osteomalacia). Su eliminación se produce por ósmosis inversa o desionización.

El empleo de fertilizantes en agricultura puede favorecer la presencia de nitratos en el agua, que en cantidades superiores a 100 mg/l pueden causar metahemoglobine-mia. Se elimina mediante ósmosis inversa o desionización.

La presencia de sulfatos en cantidades superiores a 100 mg/l pueden provocar acidosis metabólica,

vómitos y náuseas. Su eliminación se produce por ósmosis inversa o desionización.

Dos elementos que en la naturaleza pueden hallarse asociados son el sodio y el potasio. La presencia de sodio en cantidades superiores a 3 mEq/l no es aconsejable y una presencia alta de éste en el dializado, puede causar hipertensión y sed. Se favorece la presencia de sodio mediante los endurecedores, como más adelante veremos. No es deseable una presencia de potasio en cantidades superiores a 0,2 mEq/l pues puede producir hiperkalemia.

Estos dos elementos se eliminan por ósmosis inversa o desionización.

En la tabla 1 puede verse un resumen completo de lo anteriormente expuesto.

## Métodos de tratamiento del agua

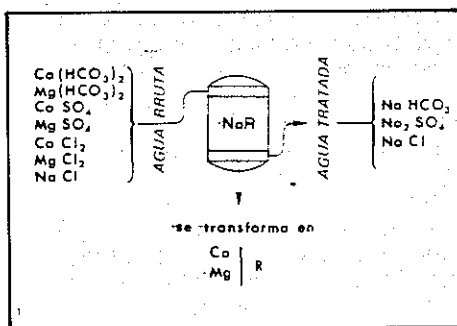
### Filtros de Sedimentación

Anteriormente se dijo, que para evitar daños a los equipos de tratamiento del agua, era necesario hacer una filtración previa. Esta filtración se hace necesaria, pues de esa forma evitamos que un determinado equipo trabaje sobrecargado, y así se le puede sacar un mayor rendimiento.

Para comprender mejor esto, en la tabla 2 se muestra un conjunto de contaminantes, con su rango de amplitud y la filtración a emplear.

### Desendurecedores

El intercambiador de cationes (descalcificador), es un método que permite la eliminación de calcio y magnesio presentes en el agua, al intercambiarlos por iones sodio, tal como se muestra en las siguientes reacciones.



Cuando el intercambiador se agota, se regenera con cloruro sódico (sal muera). Durante el proceso de ablandamiento también se eliminan de la solución los iones de hierro y manganeso.

Para darnos una idea de las cantidades que se utilizan para 1 mEq/l de sodio a la entrada, salen 8 mEq/l y para una entrada de 9 mEq/l de calcio salen 0 mEq/l.

### Desmineralización total

La desmineralización total mediante el empleo de desionizadores, es un método muy eficaz, pero que presenta varios inconvenientes.

Según el método más sencillo, el agua atraviesa sucesivamente un intercambiador de aniones OH (regenerado con sosa).

Al pasar a través del intercambiador de cationes, estos últimos se fijan en la resina y sólo subsisten en el agua los ácidos de las sales presentes inicialmente.

Entre las ventajas que presentan descartaría: eliminación efectiva de sales disueltas, regenerable y funcionamiento barato. Entre los inconvenientes: necesita el uso de productos químicos agresivos, favorece el crecimiento bacteriano, necesita de vigilancia y mantenimiento.

### Filtración por carbón

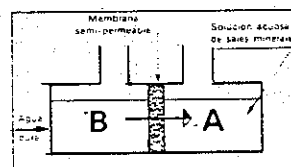
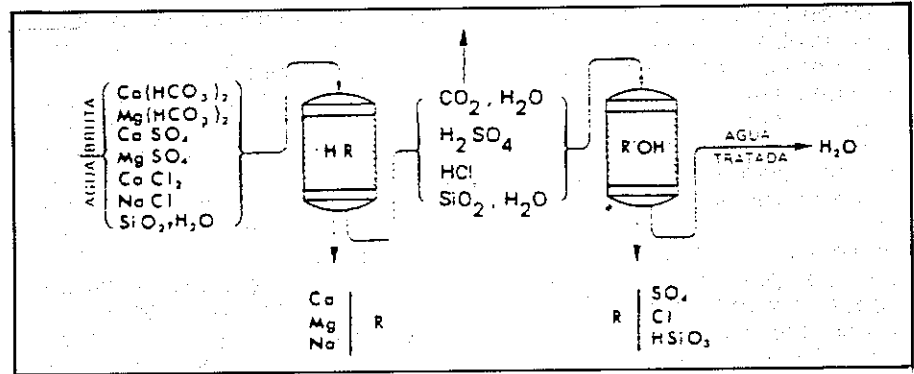
El carbón activo permite la eliminación por adsorción de la mayoría de las materias orgánicas, cloro, cloraminas, pirógenos y endotoxinas.

La velocidad y efectividad de la adsorción están en función del grano de carbón, del peso molecular de las materias orgánicas y de su tamaño.

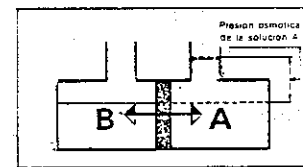
### Ósmosis inversa

La ósmosis inversa tiene su origen en la comprobación de la reversibilidad del fenómeno de la ósmosis natural.

Por medio de las figuras 1 y 2,

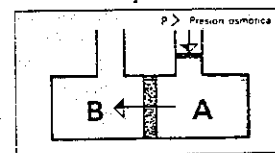


— Ósmosis directa



— Equilibrio osmótico

Fig. 1 Concepto de presión osmótica



— Ósmosis inversa.

- 1 - Agua bruta
- 2 - Agua depurada
- 3 - Vertido concentrado
- 4 - Bomba de alta presión
- 5 - Módulo de ósmosis inversa
- 6 - Membrana semi-permeable
- 7 - Valvula de expansión

Fig. 2 — Esquema simplificado de funcionamiento de una unidad de ósmosis inversa.

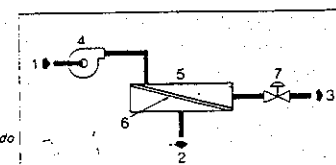
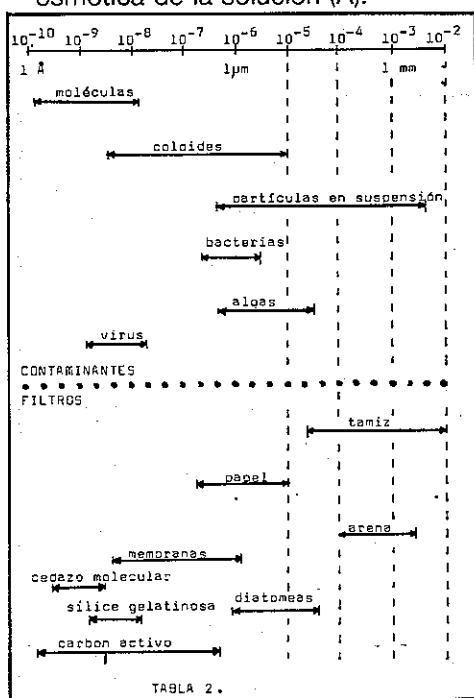


TABLA 1

CONTAMINANTES	CAUSA DE PRESENCIA	MANIFESTACIONES	CANTIDADES PERMITIDAS EN EL AGUA DE BEBER ESPAÑA O.M.S.		AGUA PARA DIALISIS	METODO DE ELIMINACION
CLORO-CLORO LIBRE TOTAL-CLORAMINAS	Eliminación de la contaminación bacteriológica	Hemólisis Anemia hemolítica	200-600 mg/l	250-350 mg/l	0,5 mg/l 0,1	FILTROS DE CARBONO
MATERIA ORGANICA PIROGENOS ENDOTOXINAS	Desechos industriales Muerte de bacterias	Fiebre-Hipotensión Daños al equipo de ósmosis	-	-	nula	ULTRAFILTRACION FILTROS DE CARBONO
MATERIA INORGANICA	Poca filtración en las plantas de agua de la red urbana	Pueden taponar tubos y orificios	-	-	nula	FILTROS DE SEDIMENTACION
CALCIO MAGNESIO	Paso del agua por terrenos calcáreos	Síndrome del agua dura	75-200 mg/l 30-150	100-200 mg/l 60-100	0,1 mEq/l	DESENDURECEDORES
HIERRO MANGANESO	Paso del agua por terrenos calcáreos	Daños a los equipos	0,1-1 mg/l 0,05-0,5	0,2-0,3 mg/l (Fe Mn) P 1,5	0,1 0,2 mg/l/l	DESENDURECEDORES
FLUORUROS	Prevención de la caries dental	Enfermedades óseas	1,5 mg/l	1,5 mg/l	0,1 mg/l	OSMOSIS INVERSA DESIONIZADORES
NITRATOS	Uso de fertilizantes en agricultura	Metahemoglobinemia	45 mg/l	30 mg/l	2 mg/l	OSMOSIS INVERSA DESIONIZADORES
SULFATOS	Por su empleo en agricultura	Disturbios gastro-intestinales	200-400 mg/l	200-400 mg/l	100 mg/l	OSMOSIS INVERSA DESIONIZADORES
SODIO	Aguas saladas Fallos en desendurecedores	Hipertensión Sec	20 mg/l	-	3 mEq/l	OSMOSIS INVERSA DESIONIZADORES
POTASIO	Suele estar asociado con el sodio y otros minerales	Hiperkalemia	10 mg/l	-	0,2 mEq/l	OSMOSIS INVERSA DESIONIZADORES
COBRE	Sulfato de cobre para matar algas Cañerías de cobre	Anemia hemolítica Leucocitosis	1 mg/l	1,5 mg/l	0,1 mg/l	OSMOSIS INVERSA DESIONIZADORES
ALUMINIO	Procesos de coagulación	Demencia dialítica	0,05	-	0,01 mg/l	OSMOSIS INVERSA DESIONIZADORES
CINC	Depósitos galvanizados	Vómitos, náuseas, fiebre	1,5 mg/l	1,5 mg/l	0,1 mg/l	OSMOSIS INVERSA DESIONIZADORES

vamos a tratar de explicar este fenómeno.

Una solución acuosa de sales minerales (A) y agua pura (B) se ponen en contacto a través de una membrana semipermeable. La ósmosis natural o directa se traduce por una transferencia de agua pura del compartimento (B) hacia el compartimento (A). El nivel asciende en el compartimento (A) hasta que la presión engendrada por la columna de líquido anula el flujo de agua pura: se alcanza el equilibrio osmótico, al valor de esta presión hidrostática se le denomina presión osmótica de la solución (A).



Si se aplica ahora, por encima de la solución salina, una presión hidrostática superior a la presión osmótica, fig. 2, se observa un flujo de agua pura en sentido inverso al anterior, quedando las sales retenidas por la membrana.

Para la ósmosis inversa, se utilizan membranas semipermeables, que dejan pasar el agua en tanto que retienen del 90 al 99% de todos los elementos minerales disueltos, del 95 al 99% de la mayoría de los elementos orgánicos y el 100% de las materias coloidales (bacterias, virus, sílice coloidal, etc...)

La membrana se reúne en unos elementos denominados módulos y el esquema de aplicación más sencillo consiste en poner en serie una bomba de alta presión, en tanto que el agua rechazada se evacúa en continuo por medio de una válvula de expansión.

En la actualidad las membranas más comercializadas son de dos tipos: acetato de celulosa y poliamidas aromáticas.

Las principales diferencias entre una y otra, se muestran en la tabla 3, y destacan fundamentalmente los módulos de arrollamiento en espiral y los de fibras huecas. Ambos tipos de módulo se muestran en la figura 3.

En los últimos años han empezado a utilizarse membranas de polisulfona de mayor resistencia y buena tolerancia al cloro, lo que permite declorar solo el agua ya tratada con el correspondiente ahorro de materiales y tiempo.

### Control de la calidad del agua

Se debe controlar a diario:

- la dureza del agua.
- el contenido del cloro.

- resistividad.

cada veintidós días es conveniente la desinfección y el control de ionogramas por laboratorio.

El esquema completo de una planta de aguas se muestra en la figura 4.

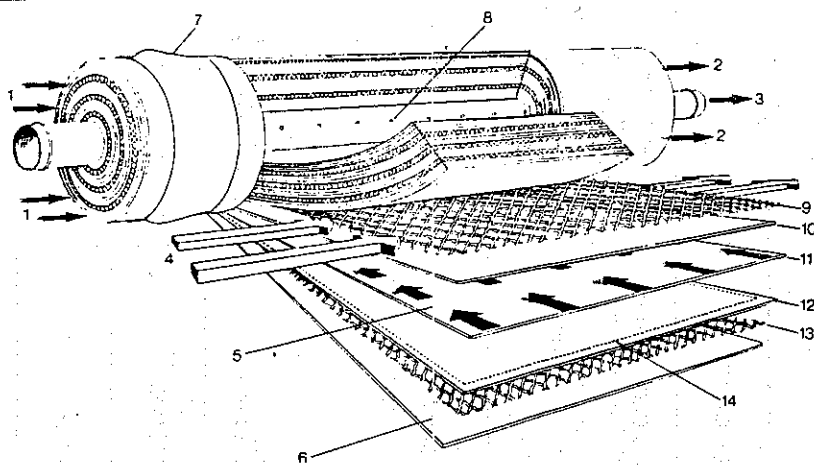
### Agua para hemodiálisis domiciliar

El agua para emplear en diálisis domiciliar, debe tener las mismas características que las anteriormente descritas.

Salvo la capacidad de producción de la planta que será sensiblemente inferior, del orden de los 200 litros por sesión, con lo cual los instrumentos también serán de menor producción, la totalidad de los mismos se debe mantener. Es decir, debemos tener: descalcificador, filtro de sedimentación, filtro de carbono y ósmosis inversa.

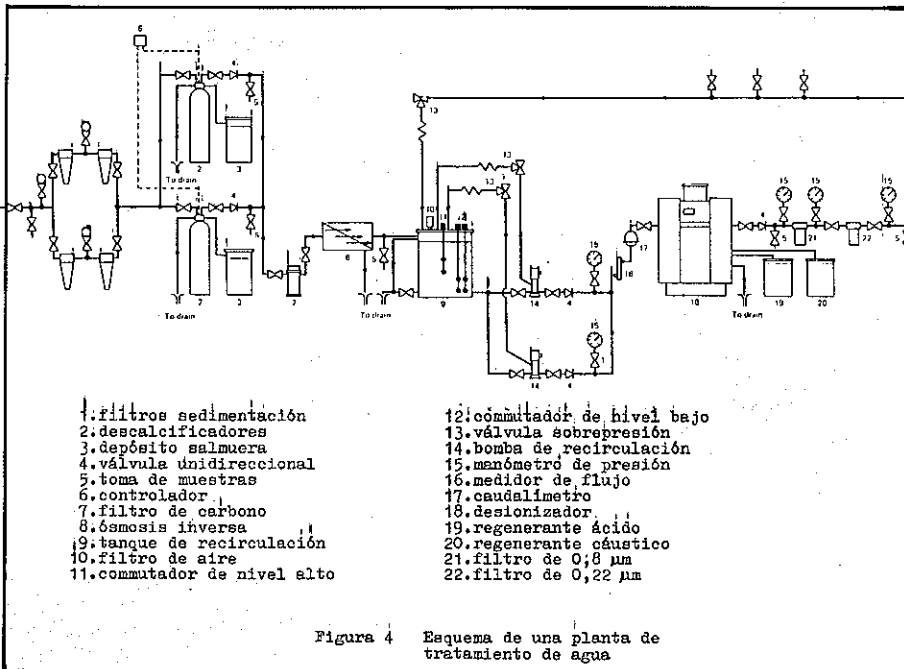
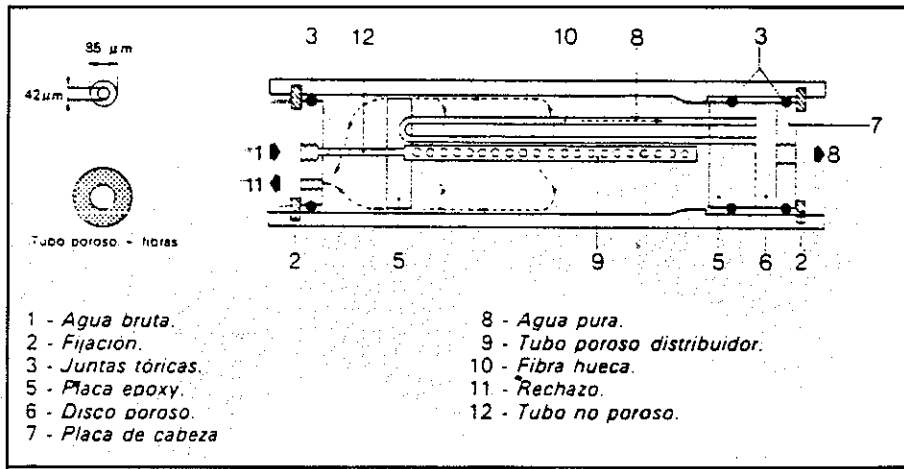
MEMBRANAS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE SALINIDAD INFERIOR A 15 gr/l

1. Naturaleza	poliamida aromática permasep B-9	acetato de celulosa
2. Configuración	fibra hueca	espiral o fibra hueca
3. Resistencia física		
- presión normal de funcionamiento	28 bar	30 a 42 bar
- contapresión máxima del agua producida	3,5 bar	
- temperatura máxima de funcionamiento	35°C	30°C
- temperatura máxima de almacenamiento	40°C	30°C
4. Resistencia química		
- pH tolerados	a 11	4,5 a 6,5
- hidrólisis	insensible	muy insensible
- ataque bacteriano	insensible	muy sensible
- cloro libre/dosis máxima admisible en continuo	pH ≤ 8 - 0,1 mg/l pH ≥ 8 - 0,25 mg/l buena resistencia	0,5 - 1 mg/l
- otros agentes oxidantes		resistencia mediana
5. Duración	3 a 5 años	2 a 3 años
6. Paso	5 a 10%	5 a 10%



- 1 - Agua bruta
- 2 - Rechazo.
- 3 - Salida de permeado.
- 4 - Sentido de flujo del agua bruta
- 5 - Sentido de flujo del permeado

- 6 - Material de protección.
- 7 - Junta de estanqueidad entre módulo y envolvente.
- 8 - Perforaciones de recogida de permeado.
- 9 - Espaciador
- 10 - Membrana.
- 11 - Colector de permeado.
- 12 - Membrana.
- 13 - Espaciador.
- 14 - Línea de soldadura de las membranas



## Bibliografía

1. AAMI. American National Standard for Hemodialysis Systems. AAMI 1981.
2. AAMI/ASIO. Revised Standards for Hemodialysis. ASIO 1974.
3. Ackerman y col. Effective Reduction of chloramine levels in dialysate. Dialysis & Transplantation Nov. 1982.
4. Ackerman y col. Chloramine removal effected by sorbsystem cartridges. Dialysis & Transplantation Nov. 1985.
5. AQUA ESPAÑA. Lista de empresas asociadas. Aqua España.
6. Babor/Ibarz. Química General Moderna. Marín 1979.
7. Bauman, F/J/ Testing Water for chloramines. Contemporary Dialysis Sep. 1984.
8. Benefield, L.D. Judkins, J.F. Weand. B.L.N
9. Brax. Chloramines removal from renal dialysis water treatment. Prentice Hall 1982.

10. Cartwright, P.S. Prevention of bacterial contamination in hemodialysis water treatment systems. Contemporary Dialysis Oct 1983.
11. Comty, C. y col. Prescription water for cronic hemodialysis. ASAIO 1974.
12. Cordy, P.E. y col. Bone disease in hemodialysis patients with particular reference to the effect of fluoride. ASAIO 1974.
13. Culligan Corporation. Filtro de diatomeas HC-48. Culligan.
14. Cuno. Cartuchos filtrantes. Peiró.
15. C2R. Demineralisation sur lits separes de resines. C2R.
16. Cartouche de traitement d'eau pour hemodialyse. C2R 1984.
17. Degremont. Manual Técnico del agua 4/E. A.G. Grijelmo 1979.
18. Drake Willock. Water treatment considerations for hemodialysis. Drake Willock 1982.
19. Drukker y col. Replacement of renal function by dialysis 2/E. M.N. 1982.
20. Favero y col. Microbiological

guidelines for hemodialysis systems. Dialysis & Transplantation No.1977.

21. Favero y col. Microbial contamination of renal dialysis systems and associated health risks. ASAIO 1974.
22. F.D.A. Investigation of the risks and hazards associated with hemodialysis devices. F.D.A. 1980.
23. Gambro. Water purification monitor wro 10-01 operator's manual. Gambro 1981.
24. Ganzi y col. Water treatment for home dialysis part I&II. D. & Transplantation Abr. May. 1984.
25. Klein, E. The use of granular activated carbon in reducing chloramine concentration in water. Contemporary Dialysis Sep 1984.
26. Lorch, W. Handbook of water purification. McGraw Hill 1981.
27. Lurgi. carbones activos en forma de polvo. Bayer Hispania.
28. Macherey-Nagel-Duren. test kits for water analysis. MN.
29. Marshall y col. The change of water treatment methods from chlorine to chloramines by water districts part I&II. C. Dialysis Sep. Nov. 1984.
30. Merck. AQUAMERCK. Merck.
31. Millipore. Millipore samplers for microbiological monitoring. Millipore 1983.
32. Single patient home dialysis water purification system. Millipore.
33. Millipore. reverse osmosis systems. Millipore.
34. Millipore. Aplicaciones de la ultrafiltración al tratamiento del agua para hemodiálisis. Millipore.
35. Millipore. Control del contenido coloidal del agua a tratar por ósmosis inversa. Millipore.
36. Orepoulus y col. Fluoride and dialysis osteodystrophy: Results of a double-blind study. ASAIO 1974.
37. Perrich. Activated carbon adsorption for wastewater treatment CRC Press.
38. Satic. AQUA LAB. Satic.
39. Sourirajan. reverse osmosis and synthetic membranes. NRCC 1977.
40. Streifel A.J. Safe and effective methods for disinfection of hemodialysis machines and hemodialysis water systems. D. & transplantation Ago. 1982.
41. Sundstron-Klein. Wastewater treatment. Prentice Hall 1979.
42. Tice, J.E. Water Quality Monitoring. C. dialysis March-1985.
43. ward y col. the use of ascorbic acid in water treatemnt for hemodialysis. C. Dialysis Feb.Mar. 1985.
44. W.P.C.F.-A.P.H.A.-A.W.W.A. standards methods for the examination of water and wastewater 15/e. W.P.C.F. 1981.