

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y MANUFACTURERA



ESTUDIO TECNICO ECONOMICO PARA OPTIMIZACION
DEL SISTEMA ACTUAL DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE E INDUSTRIAL EN EL CENTRO NUCLEAR
RACSO

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUIMICO

RONALD EDGAR TISZA HUAMAN
IVAN BABICHE FUENTES

ASESOR: ING. EMERSON COLLADO

LIMA-PERU

**"ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA OPTIMIZACIÓN
DEL SISTEMA ACTUAL DE TRATAMIENTO DE
AGUA POTABLE E INDUSTRIAL EN
EL CENTRO NUCLEAR RACSO"**

	Pág.
i.- INTRODUCCIÓN	6-7
ii.- RESUMEN	8-9
iii.- RESULTADOS	10-16
iv.- CONCLUSIONES	17-18
v.- RECOMENDACIONES	19-20

CAPITULO I.- LA ENERGÍA NUCLEAR EN EL PERÚ

1.- Aspectos generales.....	21-23
2.- Usos de la energía nuclear en el Perú	24-27
3.- Centro nuclear RACSO (CNR)	27-32
4.- Importancia del agua en el Centro Nuclear RACSO	32-40

**CAPITULO II.- ANTECEDENTES DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA.**

1.- Generalidades	41-42
2.- Condiciones de operación de la instalación.....	42-47
a.- Descripción de la obtención del agua	42-43
b.- Calidad del agua cruda	45-47
3.- Especificaciones en el momento de su instalación	47-56
a.- Estado y control del funcionamiento de las plantas.....	47-52
b.- Condiciones generales	52-56

CAPITULO III.- ACTUAL PLANTA DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE E INDUSTRIAL.

1.- Descripción del proceso	57-59
2.- Diagrama de flujo	59-64
3.- Condiciones de operación	64-78
a.- Condiciones generales	64-68
b.- Calidad del agua cruda	69-70
c.- Condiciones de operación para la regeneración de las resinas	70-71
d.- Producción de agua tratada	71-76
e.- Especificaciones técnicas de la resina utilizada en la planta de agua	77-78
4.- Especificaciones de los equipos y sus estados actuales	78-88
a.- Distribución de la planta	78-78
b.- Descripción de los equipos principales	78-79
c.- Especificaciones de los accesorios de la planta de tratamiento de agua	80
d.- Tanques	80-85
e.- Bombas	86
f.- Instrumentación básica	86-89

CAPITULO IV.- ACTUAL TRATAMIENTO DEL AGUA EN LAS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.

1.- Descripción del proceso	89-90
2.- Diagrama de flujo	90-
3.- Condiciones de operación	90-96
a.- Condiciones generales	92-93
b.- Calidad del agua	93-95
c.- Análisis microbiológico	96

CAPITULO V.- EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA ACTUAL DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE E INDUSTRIAL.

1.- Generalidades	98- 99
2.- Requerimientos de Agua Industria	99-100
3.- Requerimientos de Agua Potable	101-102
4.- Balance promedio y futuro del agua industrial y potable	103-107

a.-	Consideraciones previas	103-104
b.-	Cálculos	104-107
b.1.-	Consumo y producción, promedio de agua blanda	105-106
b.2.-	Consumo y producción, futuro de agua blanda	106-107
5.-	Análisis del agua potable	108-109
6.-	Análisis del agua industrial	110-111
7.-	Análisis microbiológicos	112
8.-	Comparación entre condiciones de operación de diseño, actuales y futuras requeridas	112-114
9.-	Evaluación de la flexibilidad operativa de la actual capacidad de almacenamiento de agua potable e industrial	115-126
a.-	Consideraciones generales	115-117
b.-	Cálculos	117
b.1.-	Flexibilidad operativa de la capacidad de almacenamiento de agua industrial	117-121
b.2.-	Evaluación de la capacidad de almacenamiento de agua industrial para requerimientos actuales	122-123
b.3.-	Evaluación de la capacidad de almacenamiento de agua industrial para requerimientos futuros	124-126
10.-	Evaluación de los equipos de intercambio iónico	126-130

CAPITULO VI.- EVALUACIÓN TÉCNICA DEL TRATAMIENTO DEL AGUA EN LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO.

1.-	Cálculo aproximado del volumen de agua en las posas de las torres de enfriamiento	131-132
2.-	Cálculo aproximado del volumen de agua en las tuberías del circuito secundario	133-135
3.-	Cálculo de la Razón de Concentración (RC)	135-137
4.-	Cálculo del índice del tiempo de retención (ITR)	138-142

CAPITULO VII.- ALTERNATIVAS DE LOS NUEVOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA.

1.- Consideraciones generales	143-144
2.- Resumen de la problemática	144-145
3.- Consecuencias	145-146
4.- Aspectos técnicos previos a las alternativas	147-182
a.- Cálculo de la capacidad real de la resina de intercambio iónico en diferentes condiciones de operación	147-165
b.- Cálculo del volumen de resina permitida por las dimensiones de diseño de cada ablandador	165-166
c.- Cálculo del volumen de resina en cada ablandador en diferentes condiciones de operación	166-167
d.- Cálculo de la cantidad de reposición de resina en cada ablandador	167-168
e.- Ejemplo de cálculo que define las alternativas	168-182
5.- Planteamiento de las alternativas	183-
a.- Bases para el planteamiento Nº 1	183-186
b.- Bases para el planteamiento Nº 2	186-188
6.- Aspecto técnico de la alternativa Nº 1	189-201
7.- Aspecto técnico de la alternativa Nº 2	201-206
8.- Selección de la mejor alternativa	206-214
9.- Acciones inmediatas para la mejora del sistema de tratamiento de agua	215-223
10.- Recomendaciones y acciones tomadas	224
a.- Diseño e instalación del laboratorio destinado a la determinación de la capacidad real de resina de intercambio iónico en general	224-226
b.- Evaluación del estado físico de la resina de intercambio iónico a diferentes condiciones	227
c.- Puesta en marcha el analizador de dureza 1220	227-235

CAPITULO VIII.- EVALUACIÓN ECONÓMICA.

1.- Generalidades	236-238
2.- Cálculos preliminares a la evaluación económica	238-247
3.- Evaluación de parámetros	248-249

BIBLIOGRAFÍA	250-252
--------------------	---------

APENDICE 1	253-263
------------------	---------

APENDICE 2	264-268
APENDICE 3	269-274
APENDICE 4	275-280
APENDICE 5	281-282
GLOSARIO	283

i.- INTRODUCCIÓN

El Reactor Nuclear RP-10 del Centro Nuclear RACSO como cualquier reactor de investigación o de potencia requiere una buena calidad de agua para que la operación no sea riesgosa.

Actualmente la planta de tratamiento de agua del Centro Nuclear RACSO tiene problemas técnicos y operativos para poder conseguir una cantidad y calidad óptima de agua; es por eso lo importante de este proyecto el cual demostrará que las soluciones técnicas son viables con la tecnología que se presenta en la Tesis y que económicamente son muy atractivos.

El presente trabajo es un proyecto que tiene como objetivo, optimizar técnica y económicamente el sistema actual de tratamiento de agua potable e industrial, que permita mejorar la operatividad y disminuir los costos directos e indirectos en la producción del agua tratada en el Centro Nuclear RACSO.

Cabe mencionar que esta optimización no sólo servirá para el estado actual de la planta, sino, también para el caso en que se requiera operar el reactor a máxima potencia las 24 horas del día.

La optimización permitirá lograr principalmente los siguientes objetivos:

- 1.- Cubrir el requerimiento y la calidad del agua potable e industrial, en la actualidad y en el momento en que se requiera operar el reactor a máxima potencia, dándole siempre un margen de seguridad.

- 2.- Eliminar los problemas y riesgos operativos permanentes con que viene operando el sistema actual.
- 3.- Permitir una mayor y mejor flexibilidad operativa y de mantenimiento en toda la planta en estudio.

ii.- RESUMEN

Para el desarrollo del presente proyecto fue necesario realizar los siguientes trabajos:

- 1.- Implementar el laboratorio de análisis químico de agua del área de Mantenimiento Químico del Reactor en Huarangal.
- 2.- Calcular la producción de agua potable e industrial así como, estimar los requerimientos cuando el reactor opere a máxima potencia las 24 horas del día.
- 3.- Estudiar los antecedentes de la planta de tratamiento de agua.
- 4.- Estudiar la actual planta de tratamiento de agua.
- 5.- Estudiar el actual tratamiento del agua en las de torres de enfriamiento.
- 6.- Evaluación técnica de la planta actual de tratamiento de agua.
- 7.- Evaluación técnica del tratamiento del agua en las torres de enfriamiento actual.
- 8.- Diseñar e instalar un laboratorio destinado a la determinación de la capacidad real de resina de intercambio iónico en general.
- 9.- Determinar la capacidad real de intercambio de la resina en todos los intercambiadores de la planta.
- 10.- Diseñar los equipos y principales accesorios del nuevo sistema de tratamiento de agua.
- 11.- Puesta en marcha de los instrumentos de control.
- 12.- Establecer controles y dosajes de los reactivos químicos en el sistema de torres de enfriamiento.

13.- Evaluar económicamente este proyecto.

En los anexos se muestran los cálculos detallados, resumen de los métodos de análisis e información adicional importante para el mejor entendimiento del proyecto.

iii.- RESULTADOS

ANTECEDENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

1.- Dureza del agua de pozo en el año 1987 fue de 354 ppm como CaCO_3 .

2.- Dureza del agua industrial : 0 ppm como CaCO_3

Dureza del agua potable : 150 ppm como CaCO_3

Flujo del agua industrial : 110 GPM

Flujo de agua potable : 121 GPM

Resina de intercambio iónico utilizando: Amberlite 120 ciclo Na.

Capacidad de intercambio de la resina : 30 000 g/pie³ (S.I.)

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA ACTUAL

1.- Dureza del agua de pozo en el año 1995 es de 524 ppm como CaCO_3 .

2.- Dureza del agua industrial : 12 ppm como CaCO_3

Dureza del agua potable : 180-200 ppm como CaCO_3

Flujo del agua industrial : 52,8 GPM

Flujo de agua potable : 66,42 GPM

Capacidad de intercambio

de la resina (agua industrial) : 18,7 Kgrano/pie³

Capacidad de intercambio de

la resina (agua potable) : 19,3 Kgrano/ple³.

ACTUAL TRATAMIENTO DEL AGUA EN LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO

- 1.- Volumen del Algicida al mes : 39 L
- Volumen del anticrustante y anticorrosivo : 27 L
- 2.- Dureza del agua de purga : 68 ppm como CaCO_3
- Sólidos totales : 953 ppm como CaCO_3
- 3.- Análisis microbiológico del agua de las torre : 22 800 col/mL.

EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA ACTUAL DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE E INDUSTRIAL

- 1.- Del balance promedio y del agua industrial se obtuvo.

Situación actual

- Flujo de agua recién ablandada: 52,86 GPM
- Flujo de agua hacia el tanque : 10,95 GPM.

Situación futura

- Flujo de agua recién ablandada: 105,7 GPM
- Flujo de agua hacia el tanque : 63,85 GPM.

2.- Análisis microbiológica del agua del tanque (1-TK)

ELEMENTOS ANALIZADOS	CANTIDAD	UNIDAD
Numeración de microorganismos aerobicos mesfilos viables.	6	ufc/ml.
Numeración de COLIFORMES totales.	Ausente	-----
Numeración de hongos y levaduras.	1	ufc/ml.
Coliformes fecales.	Ausente	-----
TCBS (Vibrio Cholerae).	Ausente	-----

CONCLUSIÓN : Agua de buena calidad microbiológica.

3.- Requerimiento de agua industrial

en condiciones futuras : 105,7 GPM

Requerimiento de agua potable

en condiciones futuras : 99,6 GPM

4.- - La capacidad del almacenamiento para condiciones operativas

actuales : no existe déficit

- La capacidad de almacenamiento

por condición futuras : existe un déficit de 14,46 m³

5.- - Existe un déficit de dureza no

ablandada en el agua potable de : 33,3%

- Existe un déficit de dureza no

ablandada en el agua industrial de : 140%

6.- Existe un déficit de flujo en el

agua potable de : 50,1%.

Existe un déficit de flujo en el agua

industrial de : 100,18%.

EVALUACIÓN TÉCNICA DEL TRATAMIENTO DEL AGUA EN LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO ACTUAL.

1.- Volumen de cada torre de enfriamiento es : 38,3 m³

2.- La razón de concentración (RC) es : 1,99.

3.- El índice del tiempo de retención (ITR) es : 8,59 h.

ALTERNATIVAS PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA.

1.- De la evaluación de la capacidad de intercambio iónico de la resina:

ABLANDADOR	44-I	44-II	44-III	45-I	45-II
CAPACIDAD					
(Kgrano/ple ³)	18,7	18,61	18,73	19,46	19,28

2.- Volumen de reposición de resina de intercambio iónico.

	UNIDAD	44-I	44-II	44-III
Volumen de resina nueva repuesta.	pie ³	28	27	28
Volumen de resina usada lavada.	pie ³	12	13	12
Volumen total de resina.	pie ³	40	40	40
Capacidad de la resina nueva.	Kgrano como CaCO ₃ /pie ³	30	30	30
Capacidad de la resina usada.	Kgrano como CaCO ₃ /pie ³	20,6	21,5	21,1
Capacidad promedio.	Kgrano como CaCO ₃ /pie ³	27,1	27,23	27,33

	UNIDAD	44-I	44-II
Volumen de resina nueva repuesta.	pie ³	16	15
Volumen de resina usada lavada.	pie ³	17	17
Volumen total de resina.	pie ³	32	32
Capacidad de la resina nueva.	Kgrano como CaCO ₃ /pie ³	30	30
Capacidad de la resina usada.	Kgrano como CaCO ₃ /pie ³	22,2	22,6
Capacidad promedio.	Kgrano como CaCO ₃ /pie ³	26,1	26,07

3.- Condiciones de operación para la regeneración a los requerimientos de la alternativa seleccionada.

PROCESO	FLUJO (GPM)	TIEMPO (min)	REQ. DE AGUA (GAL)
Contralavado.	95	15	1 425
Asentamiento.	50	5	250
Inyección de la salmuera.	16	25	397,5
Enjuague.	60	30	4 500
Tiempo muerto ^[1] .	-----	105	-----

PROCESO	FLUJO (GPM)	TIEMPO (min)	REQU.DE AGUA (GAL)
Contralavado.	75	15	1 131
Asentamiento.	50	5	250
Inyección de la salmuera.	12,5	22	276
Enjuague.	47	30	1 410
Tiempo muerto.	-----	100	-----

[1] Es el tiempo que demora el operador para preparar la salmuera, desde la descarga de la sal al tanque de agitación hasta el inicio de la inyección de la salmuera.

4.- Condiciones de operación para el lavado con HCl.

	UNIDAD	INDUSTRIAL	POTABLE
Concentración del ácido (HCl).	% en peso	10	10
Flujo de inyección del ácido.	pie ³ /h	160	128
Tiempo de remojo con ácido.	hr.	6	6
Volumen de ácido (HCl).	pie ³	105,9	70,6
Inhibidor de corrosión,	ppm	15	15
volumen de regenerante.	pie ³	105,9	70,6

EVALUACIÓN ECONÓMICA

1.- La inversión para realizar este proyecto es de \$ 82 580.

2.- En menos de 1 año se recupera el monto de la inversión (VPN > 1)

iv.- CONCLUSIONES

- 1.- La planta de tratamiento de agua del centro nuclear RACSO en el año de puesta en marcha de 1987, reducía la dureza a 0 ppm como CaCO_3 para agua industrial y para agua potable disminuía a 10 ppm como CaCO_3 sin ningún problema. El incremento Inminente de la dureza del agua de pozo por el fenómeno de "envejecimiento" no fue considerado, generando esto un problema de falta de flexibilidad.

- 2.- Actualmente dicha planta viene operando a máxima capacidad, (66,42 gpm para agua potable y 52,86 gpm de agua industrial), el cual genera un problema cuando se incrementa el tiempo o modo de operación del Reactor Nuclear. Cabe señalar que actualmente el reactor opera tres días a la semana y cuando existe problemas de la calidad ó flujo del agua industrial la operación del reactor esta supeditada a la solución de dichos problemas.

- 3.- Existe contaminación severa de la resina de Intercambio Iónico con Hierro, este Hierro es generado por la corrosión interna de los tanques ablandadores y de las líneas de tuberías por donde fluye la salmuera de regeneración.

Esta contaminación genera una disminución de la capacidad de Intercambio catiónico y en algunos casos el deterioro total de dicha resina.

- 4.- La planta esta diseñada para que el funcionamiento sea automático, con controladores de flujo, tiempo y analizadores de dureza en línea. Pero desde su inicio estos instrumentos de control nunca operaron, es decir actualmente a pesar de contar con esos instrumentos la operación y el control es manual.
- 5.- Los equipos como el tanque ablandador, tanque de salmuera, el clorador y las válvulas se encuentran en mal estado, generando contaminaciones severas, fugas que ponen en riesgo a los otros equipos.
- 6.- La instalación del equipo de evaluación de la capacidad de intercambio iónico, permitirá una evaluación fácil, segura y sobre todo preventiva para poder conocer el estado verdadero de la resina de Intercambio iónico.
- 7.- Existe un déficit en la capacidad de almacenamiento en el tanque (2-TK) de 14,46 m³ para almacenar agua industrial.
- 8.- El tiempo de recuperación de la inversión se ha estimado en menos de un año, es decir con una inversión de \$ 82 580 USA, tendremos un VPN en el 1er año de \$ 29 543.

v. RECOMENDACIONES

- 1.- Con la alternativa elegida para el proyecto se considera una flexibilidad de 40%, es decir no generará problemas un incremento de dureza hasta 733,6 ppm como CaCO_3 . Cabe mencionar que por estudios, la dureza del agua de un pozo varía desde 300 hasta 800 ppm como CaCO_3 aproximadamente.
- 2.- Con la realización del proyecto la planta de tratamiento de agua puede garantizar la calidad y flujo del agua potable e industrial para una operación del reactor a máxima potencia las 24 horas del día.
- 3.- Para descontaminar la resina de intercambio iónico de Hierro, es urgente el lavado con HCl al 10%, el procedimiento esta detallado en el capítulo VII.
- 4.- En la realización de la tesis se puso en marcha el analizador de dureza en línea y de esta manera se consiguió que el control de calidad del agua tratada se realice en forma automática.
- 5.- Realizar un mantenimiento total y progresivo a los equipos e Instrumentos que son detallados en el capítulo VII.

- 6.- Realizar la evaluación de la capacidad de intercambio de la resina de cada tanque ablandador una vez cada mes por lo menos, para poder establecer mejor los parámetros de operación y de regeneración, disminuyendo de esta forma los altos costos de operación.

- 7.- Incrementar la capacidad de almacenamiento a 164,46 m³, en el caso que la operación se realizara a máxima potencia y las 24 horas del día, de lo contrario no es necesario.

- 8.- Efectuar la inversión lo más antes posible.

CAPITULO I

LA ENERGÍA NUCLEAR EN EL PERÚ

1.- ASPECTOS GENERALES.

El Centro Nuclear OSCAR MIRO QUESADA DE LA GUERRA (RACSO) se encuentra localizado en el departamento de Lima, distrito de Carabaylo en un lugar llamado Huarangal, a 42 Km. del norte de la ciudad y a 400 m. sobre el nivel del mar. El área se encuentra en las siguientes coordenadas; longitud W 77 00'45" y latitud S 11 47'42".

Huarangal es un lugar aislado, rodeado de montañas, lo cual es ventajoso por razones de seguridad, y desde un punto de vista de seguridad ambiental sus características de dispersión son óptimas.

El Centro Nuclear tiene un reactor tipo piscina de 10 Mw de potencia (RP-10), que es la principal instalación, razón por la cual los

laboratorios en el Centro han sido diseñados. El proyecto ha tenido especial atención en la producción de radioisótopos y el desarrollo de experimentos en varios campos de la ciencia nuclear.

Según el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA) el reactor con que cuenta nuestro país está clasificado como reactor de Investigación clase "C". A continuación mostramos una información referente a los reactores de investigación existentes en América Latina:

PAÍS	NUMERO DE UNIDADES EN OPERACIÓN	NUMERO DE UNIDADES EN CONSTRUCCIÓN	NUMERO DE UNIDADES PLANEADAS	NUMERO DE UNIDADES CERRADAS
ARGENTINA	5	0	1	1
BRASIL	4	0	0	0
CHILE	1	1	0	0
COLOMBIA	1	0	1	0
CUBA	0	0	1	0
ECUADOR	0	0	1	0
JAMAICA	1	0	0	0
MÉXICO	3	0	0	0
PERÚ	2	0	0	0
URUGUAY	0	0	0	1
VENEZUELA	1	0	0	0
TOTAL	18	1	4	2

TABLA N° 1.1: Reactores de Investigación en América Latina.

La siguiente información muestra los reactores de potencia existentes en el mundo al año 1993:

GRUPO Y PAIS	OPERACION		CONSTRUCCION		ELECTRICIDAD SUMINISTRADA	
	UNIDADES Total	MW(e)	UNIDADES Total	MW(e)	TW.h	% TOTAL DE ELECTRICIDAD
Norte América		15755	0	0	88.8	17.3
Canadá	22	98784	2	2330	610.3	21.2
E.E.U.U	109					
Latino América						
Argentina	2	935	1	692	7.2	14.2
Brasil	1	626	1	1245	0.4	0.2
Cuba	0	0	2	816	0.0	0.0
México	1	654	1	654	3.7	3.0
Europa del Oeste						
Alemania	21	22657	0	0	145.0	29.7
Bélgica	7	5527	0	0	39.5	59.0
España	9	7105	0	0	53.6	36.0
Finlandia	4	2310	0	0	18.8	32.4
Francia	57	59033	4	5815	350.2	77.7
Holanda	2	504	0	0	3.7	5.1
Inglaterra	35	11909	1	1188	79.8	26.3
Suecia	12	10002	0	0	58.9	42.0
Suiza	5	2985	0	0	22.0	37.9
Europa de Este						
Bulgaria	6	3538	0	0	14.0	36.9
Eslovaquia	4	1632	4	1552	11.0	53.6
Eslovenia	1	632	0	0	3.8	43.3
Hungría	4	1729	0	0	13.0	43.3
Kazakstán	1	70	0	0	0.4	0.5
Lituania	2	2370	0	0	12.3	87.2
Repúb. Checa	4	1648	2	1824	12.6	29.2
Rumania	0	0	5	3155	0.0	0.0
Rusia	29	19843	4	3375	119.2	12.5
Ucrania	15	12679	8	5700	75.2	32.9
Africa						
Sudáfrica	2	1842	0	0	7.2	4.5
Medio Oriente						
Irán	0	0	2	2392	0.0	0.0
Sur Asia						
India	9	1593	5	1010	5.4	1.9
Pakistán	1	125	1	300	0.4	0.9
Lejano-Oriente						
China	2	1194	1	906	2.5	0.3
Japón	48	38029	6	5845	246.3	30.9
Korea	9	7220	7	5770	55.4	40.3
TOTAL MUNDIAL	430	337820	55	44369	2093.5	17.5

Nota:

- 1.- Incluir que China tiene 6 unidades en operación de una capacidad total de 4890 MW(e), una generación de núcleo electricidad de 33 TW.h, la cual representa el 33.5% del total de energía eléctrica generada.

2.- USOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN EL PERÚ.

El Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) ofrece al sector industrial una serie de servicios aplicativos de la energía nuclear. Para ello, el IPEN dispone de una infraestructura física, científica y tecnológica, constituida por laboratorios especializados en la sede central de San Borja y en el Centro Nuclear "RACSO" de Huarangal, asimismo de personal altamente calificado.

A continuación señalaremos suscintamente cada uno de los diversos servicios que se realizan en el IPEN:

SERVICIO	APLICACIÓN
1.- ANÁLISIS POR ACTIVACIÓN: NEUTRONICA (AAN):	
1.1 Determinación simultanea de Al, Sb, As, Ba, Br, Ca, Cl, Dy, In, I, Mg, Mn, K, Na, W, Tl, y V.	Análisis de rocas, sedimentos, arenas, suelos, arcillas, vidrios, cerámicas, cementos, refractarios, calizas, baritinas y otros.
1.2 Determinación simultanea de Sc, Cr, Fe, Co, Rb, Zr, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Ho, Ta y U.	Análisis de rocas, sedimentos, arenas, suelos, arcillas, vidrios, cerámicas, cementos, refractarios, calizas, baritinas y otros.
1.3 Determinación simultanea de As, Sb, Cu, In, Mn, V y Zn.	Análisis de minerales, concentrados, relaves, humos de fundición, escorias, etc.
1.4 Determinación de Renio y Molibdeno.	Análisis en concentrados de Molibdeno.
1.5 Determinación simultanea de Mo, Au y Ag.	Análisis en concentrados de plomo y cobre.
1.6 Determinación de trazas de Cadmio.	Análisis de alimentos y/o muestras biológicas.
1.7 Determinación simultanea de Cobalto, Hierro, Selenio y Zinc.	Análisis de alimentos, productos agroindustriales y muestras biológicas.
1.8 Determinación de trazas de arsénico.	Análisis en el agua.
2.- TRAZADORES EN LA INDUSTRIA:	
Determinación de las velocidades de fluidos y partículas, de flujos volumétricos y máscos, tiempos de residencia, calibración de medidores de flujo, localización de grietas en tuberías y control de migración de colorantes.	En cualquier industria de proceso. El sistema consiste en un radiotrazador, que es una sustancia radioactiva que incorporada en una sustancia en estudio nos proporciona valiosa información sobre el comportamiento en dicho sistema mediante el análisis de la información emitida.

SERVICIO

APLICACIÓN

3. TRAZADORES EN HIDROLOGÍA:

Determinación de parámetros en corrientes abiertas y de acuíferos, transporte de alimentos, dinámica de lagos y embalses, migración de la humedad de la zona no saturada, origen del agua subterránea, técnicas isotópicas de recargas artificiales, investigación en sistemas geotermales, modelos de análisis de los datos isotópicas en ingeniería civil e isótopos como trazadores de agentes contaminantes.

El radiotrazador se incorpora en la corriente de agua, el cual emite una señal que es recibida por un receptor, permitiéndose realizar el análisis correspondiente debido a que se obtiene el recorrido completo del radiotrazador dentro de la sustancia en estudio.

4. CONTROL NUCLEÓNICO:

Medición de espesor de láminas y nivel de líquidos, inspección de fallas en fundiciones y soldaduras, inspección y control de columnas de destilación de petróleo mediante el análisis de perfiles de densidad, etc.

5. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS(ENND):

Aplicación directa a los materiales ferrosos, no ferrosos y materiales compuestos, que están sometidos a diversos tipos de esfuerzos mecánicos o desgastes por corrosión. Sellos plásticos, mechas y detonadores de explosivos, fuentes radioactivas, etc.

6. IRADIACION DE ALIMENTOS:

Tratamiento cuarentenario de frutas de exportación, reducción de la carga microbiana en productos cárnicos, especias, condimentos, hierbas medicinales y aditivos. Inhibición del brote en bulbos y tubérculos para su almacenamiento. Eliminación de insectos en granos, cereales y derivados. Retardo en la maduración de frutas y hortalizas. Esterilización de colorantes orgánicos y de productos médicos.

SERVICIO	APLICACIÓN
7. PROTECCIÓN RADIOLOGICA:	7.1 Calibración dosimétrica de monitoreo de radiación.
	7.2 Calibración de equipos de rayos X y de cobaltoterapia.
	7.3 Análisis radiométricos de alimentos y recursos hidrobiológicos.
	7.4 Evaluación médica del personal sobreexpuesto a las irradiaciones.
	7.5 Dosimetría TLD.

3.- EL CENTRO NUCLEAR "RACSO".

El Centro Nuclear consta básicamente de un Reactor tipo piscina de 10 MW de potencia (RP-10), una Planta de Producción de Radioisótopos (PPR), una Planta de Tratamiento de Residuos Radioactivos de Baja Actividad (PRR) y una Oficina de Seguridad y Protección Radiológica (SPR).

Tomando como base las cuatro (04) instalaciones de mayor envergadura e importancia, a continuación describiremos cada una de ellas en sus rasgos más importantes :

3.1. REACTOR RP-10 :

El reactor RP-10 , es un reactor tipo piscina con una potencia térmica de 10 MW, generada por un núcleo que contiene **25 MTR** de elementos combustibles enriquecido con ^{235}U al 20%. Cuatro varillas de control (tipo tenedor) hechas de cadmio, plata e indio son usadas para operar el reactor. Reflectores de grafito-berilio rodean el núcleo.

En la actualidad cuenta con 43 elementos combustibles frescos disponibles, suficientes para operar a tiempo completo y a máxima potencia durante 02 años.

El núcleo se encuentra a 11m. de profundidad de una piscina cilíndrica abierta. El refrigerante fluye solamente a través de las cajas que contienen el elemento combustible, mientras que todos los agujeros en la grilla que no están siendo usados para cajas de irradiación, están cubiertas con plugs.

Conectado al tanque reactor, existe una pileta auxiliar con una altura de agua de 6 m. que sirve para almacenar los elementos combustibles gastados. El agua también es usada en todas aquellas operaciones en la cual un blindaje de este tipo es necesario. Sistemas auxiliares están disponibles para un tratamiento refrigerante químico.

3.2. PLANTA DE PRODUCCION DE RADIOISOTOPOS :

La Planta de Producción de Radioisótopos (PPR) contiene las instalaciones necesarias para producir principalmente isótopos, compuestos etiquetados y manipular sustancias radioactivas a escala industrial.

Actualmente la planta no opera en su máxima capacidad, pero lo suficiente para cubrir la demanda de radioisótopos. Sin embargo, con algunas, modificaciones no muy importantes la producción de ^{131}I , ^{99}Mo (activación) de ^{32}P , ^{125}I , ^{35}S , ^{192}Ir y otros, puede incrementarse grandemente; puesto que la planta tiene suficiente espacio para instalar celdas para producir ^{99}Mo por fisión a gran escala.

3.2.1. Instalaciones de Producción : Cuenta con celdas calientes de dos entradas, y de multi-entradas, también cuenta con celdas de calibración, campanas con tubos neumáticos, campanas radioquímicas, caja de guantes, etc. Todas estas instalaciones están destinadas para la producción, distribución y etiquetado de ^{131}I , y producción de ^{198}Au , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{90}Mo , ^{35}S , así como medidas de actividades, envíos de muestras al reactor, operaciones radioquímicas, etc.

3.2.2. Producción Actual : Actualmente se produce ^{131}I , por el método de la destilación húmeda, 2 veces al mes y produciendo 3 Ci al mes, también se produce $^{99\text{m}}\text{Tc}$ por el método de extracción MEK una vez al día, produciendo 30 Ci al mes.

3.3. PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS RADIOACTIVOS :

La planta de gestión de residuos radioactivos consiste principalmente en:

- Una Instalación de Compactación de residuos sólidos.
- Trincheras para residuos radioactivos líquidos.
- Trincheras para residuos radioactivos sólidos.
- Cubículo para la disposición de fuentes gastadas selladas.
- Cubículo para la disposición de residuos biológicos contaminados.
- Una Planta de Precipitación Química.

Las tres últimas instalaciones no están en funcionamiento, por el momento.

La principal fuente generadora de residuos radioactivos en el Centro Nuclear proviene de la operación del reactor y de la Planta de Producción de Radioisótopos. Estos residuos son de baja actividad. Los residuos líquidos que provienen de la PPR son colectados en un tanque de concreto, los cuales contienen radlolsótopos de vida media corta, que después de su decaimiento, los efluentes son descargados a las trincheras de residuos radioactivos líquidos sin ningún tratamiento. Los residuos líquidos provenientes del reactor resultan de la regeneración de las resinas de intercambio iónico usadas para la purificación del agua de enfriamiento del reactor. Se espera que después de la regeneración, el volumen de residuos sea de 10 a 25 m³ aproximadamente .

Todos los residuos radioactivos sólidos contaminados con radiolsótopos de vida media corta son descargados al medio ambiente después de su decaimiento en la manera de basura en general. Todos los demás residuos sólidos contaminados con radioisótopos de vida media larga y que son compresibles con bajas tasas de dosis son tratados mediante compactación. Los residuos de bajo nivel son compactados y acondicionados en trincheras en el área respectiva de la planta.

3.4. CENTRO DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLOGICA :

El objetivo de esta área es proveer los servicios de protección radiológica e indicar los riesgos de radiación presentes en actividades relacionadas con el uso de la energía nuclear, con el principal motivo de regular la seguridad radiológica para protección de los trabajadores, el público y el medio ambiente expuestos a radiaciones ionizantes.

Existen varios laboratorios que han sido instalados para llevar a cabo esta misión:

3.4.1. Laboratorio de Radiobiología y Citogenética : Ejecuta el control de los efectos biológicos de la radiación en la sangre. También lleva a cabo una dosimetría biológica basada en el análisis de las alteraciones cromosómicas de las células sanguíneas.

3.4.2. Laboratorio de Control de Contaminación Interna : El principal objetivo de este laboratorio es determinar la dosis de radiación generada por la incorporación de Radionúclidos en el cuerpo. En la actualidad se viene realizando la medida de ^{131}I en las tiroides.

3.4.3. Laboratorio de Control Ambiental : Es usado para el análisis radiométrico de muestras ambientales, alimentos, y otros, lo cual constituye el principal soporte de desarrollo de programas de monitoreo local y nacional de la contaminación radioactiva del medio ambiente.

3.4.4. Laboratorio de Dosimetría de Película : Existe una infraestructura para el control de calidad del personal con el servicio de dosimetría de película.

4.- IMPORTANCIA DEL AGUA EN EL REACTOR RP-10

La importancia del agua en el reactor, se basa en el uso y la necesidad de cumplir con los requerimientos mínimos en la calidad del agua, para poder operar el reactor sin problemas.

A continuación se muestra en un diagrama de bloques (**Figura N° 1.1**) el recorrido total del agua en el centro nuclear, donde se puede observar los cuatro (04) sistemas principales existentes en el reactor nuclear RP-10.

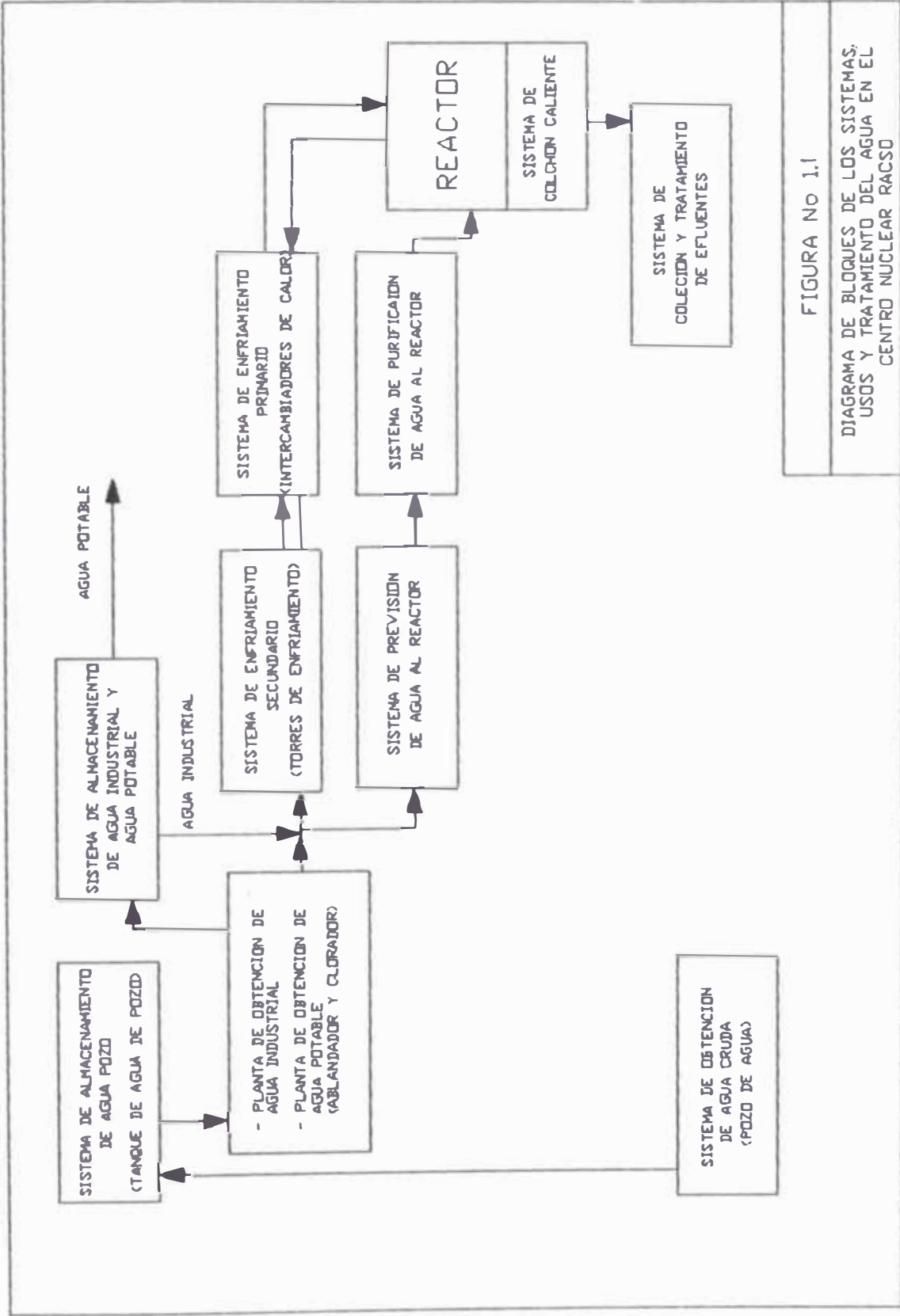


FIGURA No 1.1

DIAGRAMA DE BLOQUES DE LOS SISTEMAS, USOS Y TRATAMIENTO DEL AGUA EN EL CENTRO NUCLEAR RACS0

Mostrado esquemáticamente los cuatro (04) sistemas principales de agua en el reactor nuclear, a continuación se describen los mismos y además el sistema de suministro de agua y el sistema de enfriamiento.

4.1. Sistema de Provisión de Agua al Reactor RP-10:

Este sistema tiene por función abastecer agua desmineralizada al reactor para :

- El llenado inicial del tanque principal, de la pileta auxiliar, del circuito primario de refrigeración y de los componentes asociados a los mismos.
- La reposición parcial o total del agua contenida en ellos.
- La provisión del agua necesaria en las distintas etapas de regeneración de la columna de intercambio iónico del sistema continuo, en el contralavado del filtro y en el resto de las diversas operaciones afectadas a dicho sistema de purificación.
- La regeneración de la cadena desmineralizadora.
- Las necesidades generales que contemplan la utilización de agua de elevada pureza.

El proceso de desmineralización del agua blanda se realiza mediante un sistema de intercambio iónico por resinas, que consta de una columna catiónica, una columna aniónica y equipo pulidor final de lecho mezclado.

La cadena desmineralizadora provee un volumen neto entre regeneraciones sucesivas de 40 m³ de agua con una calidad de:

pH	:	7 ± 0,2 UPH
Conductividad	:	0,2 μS/cm
SiO ₂	:	0,1 ppm

Considerando que la cadena debe regenerarse con agua producida por sí misma, los rendimientos brutos (agua de servicio más agua de regeneración) entre regeneraciones sucesivas son las siguientes:

Columna Catiónica	:	54 m ³
Columna Aniónica	:	51 m ³
Columna de Lecho Mixto	:	185 m ³

Siendo el caudal de operación total de 6,2 m³/h, considerando los 5m³/h netos requeridos y lo que se debe adicionar para la regeneración.

4.2. Sistema de Purificación de Agua al Reactor RP-10:

Tiene por finalidad mantener el agua del tanque principal, pileta auxiliar, recipientes de decaimiento y demás equipos del sistema primario, en un alto nivel de pureza, 0,5 μS/cm de conductividad, con el fin de reducir a un mínimo la corrosión de los materiales del reactor en contacto con el agua, a un flujo promedio de operación de 25 m³/h.

Asimismo elimina los productos de corrosión, fisión e impurezas activas, de manera de contener un bajo nivel de actividad, en el circuito primario.

En funcionamiento normal el sistema está capacitado para alimentar el agua, alternativamente, de tres puntos:

- Tanque principal en un nivel medio ubicado por encima de los sifones, y a una cota de (+5.510 m.)
- Pileta auxiliar, en la parte superior del depósito de los elementos combustibles fisurados.
- Circuito primario, en el colector de salida de los intercambiadores de calor.

La alimentación se produce mediante dos bombas centrífugas horizontales, ubicadas en paralelo, de 25 m³/h de caudal unitario y de uso alternativo, luego pasa por un filtro cerrado de abajo hacia arriba, destinado a retener partículas mayores de 25 µm.

En la línea de retomo, a la salida de la columna desmineralizadora, existe una trampa de resina destinada a evitar posibles fugas de las mismas hacia el sistema primario y a los tanques principal y auxiliar.

4.3. Sistema del Colchón Caliente:

Este sistema tiene por objetivo formar y mantener un colchón de agua sobrecalentada que se hallará ubicado en la parte superior del tanque principal, pileta auxiliar y canal de interconexión.

El "colchón caliente" constituirá un verdadero blindaje que limitará la actividad en las bocas de aquellos, brindando una verdadera protección biológica.

Una bomba centrífuga de circulación (caudal=10 m³/h), aspira el agua desmineralizada de la toma ubicada en el interior del tanque principal y de la pileta auxiliar por la parte de arriba (10,38 m) o por la de abajo (9,05 m), y la retoma por abajo o arriba previa circulación a través del filtro físico, filtro químico y del calefactor.

El filtro físico es el encargado de retener las partículas que puedan hallarse en suspensión, mediante elementos filtrantes de acero inoxidable.

El filtro químico está compuesto por resinas catiónicas y aniónicas fuertes y actúa como pulidor de agua del colchón eliminando eventuales impurezas disueltas.

El tanque calefactor aloja en su interior una batería de calefactores eléctricos que elevan la temperatura del agua a los valores deseados.

Una vez formado el "colchón caliente" mediante la recirculación continua, se procede a mantenerlo en esas condiciones funcionales durante el período que se necesite disponer del blindaje que él ofrece.

Entre los principales parámetros del "colchón caliente" se puede mencionar que tiene un espesor de 1,50 m., el área superficial comprende la del tanque principal, la de pileta auxiliar y la del canal de interconexión y es de 36,56 m². El tiempo de formación del colchón es

de 5 horas aproximadamente. La diferencia entre la temperatura del "colchón caliente" y la del agua en el tanque será de 5°C; pero para tener en cuenta las pérdidas de calor, se fija como salto de temperatura en el calefactor de 7°C; además la calidad del agua del "colchón caliente" normalmente tendrá una conductividad de 0,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un pH de $7 \pm 0,2$.

4.4. Sistema de Colección y Tratamiento de Efluentes:

Este sistema tiene por función principal la de coleccionar los efluentes provenientes de

- Desagües de los laboratorios activos.
- Drenajes y pérdidas de componentes y elementos por donde circula el agua del primario.
- Desagüe de celda caliente.
- Rebalse del tanque principal.
- Regeneración de las resinas de intercambio iónico del sistema purificador de agua del reactor.
- Contralavado del filtro físico perteneciente al sistema de purificación de agua del reactor.
- Lavado del volumen de resinas gastadas contenidas en el recipiente de almacenamiento de resinas.
- Desagüe y drenajes de los tubos de irradiación.
- Cámaras de pisos.

Los efluentes anteriormente mencionados serán colectados por las sistemas principales, donde luego del proceso correspondiente de neutralización y decaimiento, serán enviados al destino final.

4.5. Sistema de Suministro de Agua:

Este sistema incluye una planta purificadora, un tanque de reserva y bombas. El sistema provee al reactor la adecuada cantidad de agua de alta pureza para su llenado inicial, reposición y un relleno parcial, además provee la adecuada cantidad de agua para la regeneración de las resinas de intercambio iónico y para la limpieza del filtro.

4.6. Sistema de Enfriamiento:

4.6.1. Circuito Primario:

Fluido de Enfriamiento	: Agua desmineralizada.
Flujo	: 550 m ³ /h.
Tanques de Decaimiento	: 2
Bombas Centrífugas	: 3 en paralelo, 90 Kw.
Intercambiadores de Calor	: 3 tipo placa, paralelo.

4.6.2. Circuito Secundario :

Fluido de Enfriamiento	: Agua blanda.
Flujo	: 550 m ³ /h.
Bombas Centrifugas	: 3 en paralelo 110 Kw.
Torres de Enfriamiento	: 3 en paralelo.

4.6.3. Sistema de Seguridad en los Sistemas de Enfriamiento:

- Diseñado para perder el flujo de accidentes (LOFA).
- Diseñado para evitar accidentes por pérdidas de refrigerante (LOCA).

4.6.4. Sistema de Purificación de Agua en el Sistema Primario :

Mantiene un alto grado de pureza al agua para reducir la corrosión de los materiales del reactor, y eliminar los productos de corrosión y fisión. Actualmente se maneja un valor promedio de conductividad 1 μ S/cm.

CAPITULO II

ANTECEDENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA EN "RACSO".

1.- GENERALIDADES.

1988, es aproximadamente el año en que se puso en marcha la planta de tratamiento de agua del centro nuclear RACSO.

El agua es procesada para la obtención de agua potable e industrial que requiere el Centro Nuclear. El agua industrial se utiliza para el sistema de torres de enfriamiento del reactor y para el agua de reposición del mismo.

El agua de reposición tiene mucha importancia porque se utiliza como blindaje o aislante de la radiactividad que produce el núcleo del reactor. Por lo tanto el agua de reposición tiene que ser prácticamente

pura, exenta de cualquier tipo de elemento químico, ello es para que la radioactividad del núcleo del reactor no afecte en la generación de algún elemento radioactivo difícil de controlar.

Entonces al mejorar la calidad del agua industrial, es decir, reduciendo los contaminantes, se podrá garantizar que los sistemas de provisión y purificación que tratan el agua de reposición al reactor, mejoren sus performances sin mayor problema. Si ocurriera lo contrario, dichos sistemas tendrían que operar con mayores dificultades para cumplir los requerimientos establecidos de alta pureza del agua de reposición al reactor.

Con respecto al abastecimiento de agua, se cuenta con depósitos subterráneos, que constituyen una fuente principal de agua dulce. Cabe señalar que estos pozos se alimentan por filtraciones de agua del río Chillón.

2.- CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA INSTALACIÓN.

a.- DESCRIPCIÓN DE LA OBTENCIÓN DEL AGUA:

El agua que utiliza el centro nuclear RACSO para cumplir con los requerimientos vitales, proviene de un pozo denominado P.O.A (planta de obtención de agua) [1-PZ] que se encuentra a 360m. s.n.m. (sobre el nivel del mar).

El POA puede trabajar en forma automática o manual^[1]. En modo automático opera con un tablero de control que controla el nivel del tanque de reserva mediante un sistema de electrodos, es decir, cuando el nivel del agua predefinido es alcanzado las bombas del pozo dejan de bombear.

El tanque de reserva [1-TK] se encuentra a 469 m. s.n.m., tiene una capacidad de 5000 m³. El bombeo del agua del pozo al tanque de reserva se realiza mediante un motor eléctrico y en caso de emergencia se utiliza un cabezal de engranajes para grupo diesel.

El tanque de reserva posee un rebose para evitar un derramamiento de agua y un desagüe cuando se requiere hacer algún mantenimiento. De este tanque se alimenta a varias líneas de agua, tales como la de contra incendio, la de riego de jardines y para la planta de tratamiento de agua, estas líneas son alimentadas por gravedad, la disposición de las mismas son mostradas en la figura N° 2.1^[2].

El agua que ingresa a la planta de tratamiento se divide en dos líneas, uno para agua potable y la otra para uso industrial. El agua para uso industrial también se subdivide en 2 líneas, una para torres de enfriamiento y el otro para el sistema de purificación discontinuo.

¹ En la actualidad el P.O.A. es operado en forma manual, esto por precaución a un corto circuito que antes se genero.

² En este plano también se muestra futuras instalaciones.

b.- CALIDAD DEL AGUA CRUDA:

El siguiente reporte, corresponde al análisis químico del agua de entrada a los ablandadores, en el año en que estaba en estudio el diseño y puesta en marcha de dicha planta. Este reporte se toma en cuenta para posteriores conclusiones del estudio realizado.

El agua profunda suele moverse muy lentamente. Su flujo se mide en pies por año en comparación con las corrientes superficiales, cuyas velocidades se dan en pies por segundo. Debido a esto, la composición de cualquier pozo es por lo general bastante constante. Aunque los pozos pocos profundos pueden variar estacionalmente en su temperatura, también las aguas de los pozos perforados en diferentes estratos tienen características diferentes.

Entonces se puede afirmar que siendo la dureza total de 354 ppm como CaCO_3 , se mantendrá la dureza en valores cercanos. Pero se tiene que tomar en cuenta:

La antigüedad del pozo que es aproximadamente de 7 años.

- * La profundidad del pozo, y sobre todo,
- * Las filtraciones de las aguas del río Chillón.

3.- ESPECIFICACIONES EN EL MOMENTO DE SU INSTALACIÓN

3.1.- ESTADO Y CONTROL DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS PLANTAS:

Esta descripción del estado y control del funcionamiento de la planta de agua industrial y del agua potable se complementa con la **figura N° 2.2**, la cual muestra el diagrama de flujo de todo el sistema en estudio.

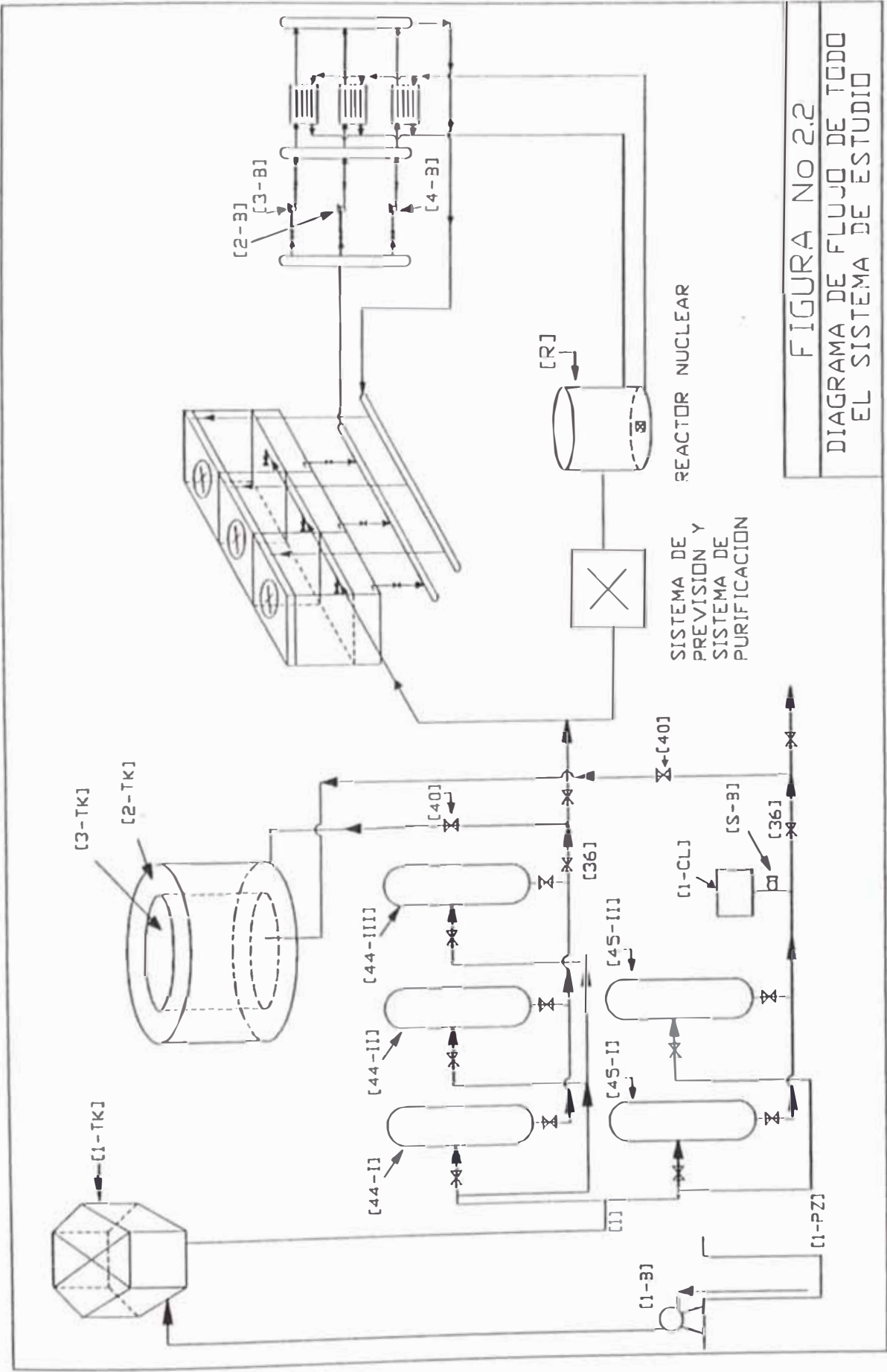


FIGURA NO 2.2
 DIAGRAMA DE FLUJO DE TODO
 EL SISTEMA DE ESTUDIO

3.1.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA INDUSTRIAL

Esta planta reducía la dureza de 504 ppm hasta 0 ppm como CaCO_3 y tomaba el agua cruda de la línea de aducción del tanque de reserva [1-TK], con una derivación de 4" de diámetro [1].

De los tres intercambiadores iónicos [44-I,44-II,44-III], uno funciona [44-I], el cual sirve para tratar 52840 galones de agua, que son registrados por un medidor totalizador instalado a la salida de la planta, para luego proceder al regenerado de la resina entrando en funcionamiento el segundo intercambiador iónico [44-II]. El tercer intercambiador [44-III] permanecía de reserva, programándose una combinación de usos, dándole un número de horas de utilización equivalente a las tres unidades.

A la salida del agua tratada y después del medidor de flujo se instaló válvulas de altitud y retención incorporado (check) [36] para evitar contraflujos que puedan alterar la lectura del medidor y/o funcionamiento de la planta, para luego subir a llenar el tanque de regulación [2-TK], el mismo que almacenaba agua tratada por 6 horas de reserva para el consumo máximo de las Torres de Enfriamiento y Discontinuo del Reactor (R). La válvula de altitud [40] era regulada para que ante un descenso de 0,60 m. del nivel máximo establecido en el tanque, apertura y permita el paso de agua tratada, manteniéndose de esta forma un tirante de agua constante con la altura de agua en el tanque, mantenida por el dispositivo indicado, se podrá garantizar una presión de servicio a la entrada del Sistema

Discontinuo de Desmineralización del Reactor, de aproximadamente 2kg/cm^2 , que fueran requeridas por la ingeniería básica entregada.

La operación era mediante una válvula de funcionamiento automático [37] que en conjunción con el medidor, efectuaría las funciones de lavado, regeneración, enjuague y servicio, siguiendo la secuencia de entrada en funcionamiento de la otra unidad de ablandamiento. Paralelamente se estaba efectuando la prueba de dureza, a través del equipo comparador colorimétrico [1220] que verifica la presencia de sales en el agua tratada.

Del reservorio sale la tubería [2] de distribución de agua para el consumo industrial.

Para los casos en que se halle en limpieza el compartimiento de agua Industrial en el tanque, se establece un paso directo (by pass) de los ablandadores a la red de distribución de agua.

3.1.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Esta planta acondicionaba el agua a 150 ppm como CaCO_3 a partir de 354 ppm como CaCO_3 de dureza, tomando el agua cruda de la línea de aducción común con el agua industrial, obtenida del tanque de reserva [1-TK] con una línea de 4" de diámetro [1].

De los dos intercambiadores iónicos [45], uno funcionaba para tratar 58 080 galones entre regeneraciones que igualmente eran controlados por el medidor, que automáticamente operaba luego del paso de este volumen, se iniciaba los procesos de lavado,

regeneración con salmuera, enjuague y servicio, entrando en funcionamiento el segundo tanque ablandador, mientras se realiza la regeneración del primero y así se alternarán las operaciones de ambos intercambiadores y automáticamente con la válvula automática de multi-paso [37].

Al igual que el sistema de agua industrial, el agua tratada será elevada al otro comportamiento del tanque elevado de 150 m³ [2-TK], y los niveles máximos y mínimos controlados mediante válvulas de altitud y check [40 y 36], derivándose de esta misma línea de llenado, la que corresponde a la distribución de agua para los servicios del C.N.R., cubriéndose de esta forma, los picos de consumo del centro en forma integral.

Por lo demás, corresponde los mismos pasos de operación descritos para el sistema de acondicionamiento de agua para uso industrial.

A la salida del agua tratada y antes de elevarse al tanque y/o pasar a la distribución simultáneamente, se aplicaba gas cloro en una dosis para prever cualquier contaminación presente en el reservorio general o en la red de distribución, garantizándose cloro residual de 0,5 ppm como mínimo, en cualquier punto de la red.

Esta clorinación se lograba mediante la instalación de un equipo [1-CI] que funcionaba automáticamente a través de una bomba [1-B ó SB] de refuerzo que capta el agua en un punto de la tubería y la hace pasar por el clorador, inyector y luego descargada en un punto, más

adelante de la red.

El clorinador [1-CI] era calibrado para entregar una dosificación de aproximadamente 1 a 1,5 ppm de cloro previéndose la reserva conveniente de botellas de gas cloro reguladas mediante el control de peso y el medidor de dial. Las condiciones de servicio de los cilindros y las pruebas de cloro residual se efectuaban periódicamente utilizando el método de la Ortotolidina.

3.2.- CONDICIONES GENERALES

Este punto, se da descripción resumida de las condiciones de operación y las especificaciones de algunos equipos en el momento que se puso en marcha la planta de tratamiento de agua. Las **tablas N° 2.1 y N° 2.2** se refiere al agua potable, a la unidad de ablandamiento y al clorador, respectivamente. La **tabla N° 2.3** se refiere al agua industrial.

Esta descripción es de suma importancia para la realización del diagnóstico comparativo de las condiciones, especificaciones y requerimientos del Centro Nuclear RACSO, con fines de optimizar dicha planta.

VARIABLE	UNIDAD	CANTIDAD
Dureza del agua de entrada.	ppm como CaCO ₃	354
Dureza del agua de salida.	ppm como CaCO ₃	150
Tipo de resina utilizada.	---	Amberlite 120 ciclo Na
Flujo a tratar.	GPM	121
Presión de trabajo.	lb/pulg ²	60
Presión de prueba.	lb/pulg ²	100
Volumen de agua a producir por ciclo.	gln.	58 080
Número de unidades de ablandamiento.	---	2
Disposición de las unidades.	---	paralelo
Capacidad de intercambio de la resina.	grano/pie ³	30 000
Temperatura del agua (max.).	°C	25

Tabla N° 2.1: Agua Potable en la Unidad de Ablandamiento.

VARIABLE	UNIDAD	CANTIDAD
Caudal de entrada del agua al clorador.	GPM	300
Presión de trabajo.	lb/pulg ²	40
Cloro residual (max.).	ppm	0,5
Peso de los cilindros con cloro.	lb	75
Número de cilindros	-----	4

Tabla N° 2.2: Agua Potable en la Unidad de Cloración).

VARIABLE	UNIDAD	CANTIDAD
Dureza del agua de entrada.	ppm como CaCO ₃	354
Dureza del agua de salida.	ppm como CaCO ₃	0
Tipo de resina utilizada.	---	Amberlite 120 ciclo Na
Flujo a tratar.	GPM	110
Presión de trabajo.	lb/pulg ²	60
Presión de prueba.	lb/pulg ²	100
Volumen de agua a producir por ciclo.	gln.	52 840
Número de unidades de ablandamiento.	---	3
Disposición de las unidades.	---	paralelo
Capacidad de intercambio de la resina.	grano/pie ³	30 000
Temperatura de agua (max.).	°C	25

Tabla N° 2.3: Agua Industrial en la Unidad de Ablandamiento.

De las tablas anteriores se concluye que:

- a).- La dureza del agua de entrada al ablandador es medianamente alta (no severa).
- b).- La dureza del agua industrial tiene que ser 0 ppm como CaCO_3 , la cual es muy exigente.
- c).- La dureza del agua potable tiene que ser 150 ppm como CaCO_3 , la cual es exigente.
- d).- Se puede observar que las demás condiciones de operación son relativamente óptimas.

CAPITULO III

ACTUAL PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

En el capítulo anterior (II) se trato de los antecedentes de la planta de tratamiento de agua, es decir; en el momento de su diseño e instalación, esto con la finalidad de comparar con la situación actual de dicha planta que se describe en el presente capítulo.

1.- DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN ^[1]

El agua es extraída del pozo **[1-PZ]** situado en las pampas de Huarangal a unos 5 Km. del Centro Nuclear RACSO, luego el agua es almacenada en el tanque de reserva **[1-TK]** de 5 000 m³ de capacidad.

^[1] Referirse a la Figura N° 2.2 de Capítulo II.

La alimentación de agua cruda, a la planta de tratamiento de agua se realiza por gravedad a través de una tubería de 4" de diámetro, proveniente del tanque **[1-TK]**.

El paso del agua cruda a los ablandadores es mediante tuberías de 3" de diámetro, eligiéndose el ingreso del agua a cualquier ablandador **[44]** o **[45]**, mediante la manipulación de la válvula de compuerta **[32]**.

Cuando se está produciendo agua blanda, la válvula Solomactic **[37]** emite una señal de agua la cual abre la válvula de diafragma **[39]** automáticamente.

El agua antes de pasar por la válvula **[39]** pasa por un rotámetro **[49]** y un manómetro **[48]**, para poder registrar el flujo de entrada y la presión de trabajo. El agua ablandada sale por una línea también de 3" de diámetro y una válvula de diafragma **[39]** que opera automáticamente, luego pasa por una válvula de compuerta **[32]**.

El agua producida es almacenada en un tanque elevado **[2-TK]** que tiene 2 compartimientos, de 150 m³ cada uno para agua industrial y potable.

Cuando se requiere regenerar, se emplea un tanque de salmuera **[4-TK]** o **[5-TK]** para preparar la misma, que será inyectada luego mediante una válvula de compuerta **[34]**. Después del regenerado, la salmuera usada y el agua de enjuague se desechan del ablandador por la parte inferior, usando una tubería de 1½" y una válvula de compuerta **[33]**.

Para la purga de aire se utiliza una tubería de ½" de diámetro y una válvula de compuerta [35].

La operación es repetitiva y similar para cada ablandador de agua potable e industrial. Mas detalles de la operación, como la distribución de los equipos, cantidades, denominaciones y otras, se encuentran en la **figura N° 3.3 , Pág. 66**.

2.- DIAGRAMA DE FLUJO

En la **figura N° 3.3**, se muestra el actual diagrama de flujo del sistema en estudio.

En este diagrama se muestra esquemáticamente las partes mas relevantes de todo el sistema en estudio, como son:

- El pozo de obtención de agua.
- El tanque de reserva de agua.
- Los 5 tanques ablandadores.
- Las principales válvulas.
- Los tanques de almacenamiento para el agua producida.
- Las torres de enfriamiento.
- Los principales colectores y
- Las bombas del sistema de enfriamiento.

En las **figuras N° 3.1 y 3.2**, se muestra el diagrama de flujo para la obtención del agua potable e industrial respectivamente en la planta actual de tratamiento de agua.

En aquellas figuras también se detallan todas las líneas, válvulas, instrumentos de control, etc.

3.- CONDICIONES DE OPERACIÓN

a.- CONDICIONES GENERALES:

En las tablas N° 3.1, N° 3.2 y N° 3.3 se mencionan las condiciones de operación actuales, con las cuales están operando la planta de tratamiento de agua potable e industrial.

Estas tablas se utilizarán para realizar las evaluaciones técnicas de los requerimientos del Centro Nuclear RACSO, comparando la situación actual con los antecedentes del año 1986, las cuales se listaron en el capítulo II . Estas evaluaciones se muestran en el capítulo V.

Considerando que no se disponía de toda la información necesaria para poder realizar estas tablas se tuvo que llevar a cabo las siguientes actividades:

- Implementar el laboratorio de análisis químico del área de mantenimiento químico del Centro Nuclear RACSO.
- Realizar corridas completas de producción de agua potable e industrial.
- Evaluar el estado de las resinas de intercambio iónico (capacidad, granulometría, contaminantes, etc.)

Todos los análisis^[1] fueron realizados en dicho laboratorio y realizados de acuerdo a los "métodos standard" de examen de agua y desagüe. En la determinación de la capacidad^[2] real se tuvo que abrir los 5 ablandadores y construir un equipo de muestreo^[3].

[1] Los métodos de análisis son resumidos en el apéndice 1.

[2] El procedimiento para el cálculo de la capacidad real de la resina de intercambio iónico se describe en el punto VII.5.a

[3] El diseño del equipo de muestreo se menciona en el apéndice 2.

VARIABLE	UNIDAD	CANTIDAD
Dureza del agua de entrada.	ppm como CaCO ₃	524
Dureza del agua de salida.	ppm como CaCO ₃	180 - 200
Flujo a tratar.	GPM	66,42
Tiempo de producción.	hr.	8
Tiempo de regeneración.	hr.	3
Número de ciclos por día.	-----	1
Tipo de resina utilizada.	-----	Amberlite 120 ciclo Na
NaCl al 25%.	Kg/ciclo	250
Capacidad de intercambio de la resina	Kgrano/pie ³	[45-1] = 19,46
	Kgrano/pie ³	[45-2] = 19,28
Presión de trabajo.	lb/pul ²	56-58
Volumen de agua a producir por ciclo.	gal.	31 881,6
Número de unidades de ablandamiento.	---	2
Disposición de los ablandadores.	---	paralelo
Temperatura del agua [max].	°C	25

Tabla N° 3.1: Características del Agua Potable (Unidad de Ablandamiento)

VARIABLE	UNIDAD	CANTIDAD
Caudal de entrada del agua al clorador.	GPM	280 ^[1]
Presión de trabajo.	lb/pulg ² (min)	50
	lb/pulg ² (max)	70
Cloro residual.	ppm	0,2
Peso de los cilindros en la actualidad.	lb	30
	lb	75
	lb	0
	lb	0

Tabla N° 3.2: Características del Agua Potable (Unidad de Cloración)

Se puede observar que la dureza del agua cruda ha aumentado sustancialmente, mientras que los requerimientos mínimos no se cumplen y se generan muchos problemas en la producción del agua.

^[1] Este valor fue estimado basado en la producción de agua potable, por falta de un medidor de flujo.

VARIABLE	UNIDAD	CANTIDAD
Dureza del agua de entrada.	ppm de CaCO ₃	524
Dureza del agua de salida.	ppm como CaCO ₃	12
Flujo a tratar.	GPM	52,8
Tiempo de producción.	hr.	8
Tiempo de regeneración.	hr.	3
Número de ciclos por día.	---	1
Tipo de resina utilizada.	---	Amberlite 120 ciclo Na
NaCl al 23,3%.	Kg/ciclo	350
Capacidad de intercambio de la resina:	Kgrano/pie ³	[45-1]=18,70
	Kgrano/pie ³	[45-2]=18,61
	Kgrano/pie ³	[45-3]=18,73
Presión de trabajo.	lb/pulg ²	56-58
Volumen de agua a producir por ciclo.	gal.	25 360,6
Número de unidades de ablandamiento.	---	3
Disposición de los ablandadores.	---	paralelo
Temperatura del agua (max.).	°C	25

Tabla N° 3.3: Características del Agua Industrial (Unidad de Ablandamiento)

b. CALIDAD DEL AGUA CRUDA:

En el siguiente análisis se presenta las características del agua cruda que ingresa al ablandador.

ANÁLISIS DE AGUA

Localidad	HUARANGAL	N° Análisis	: 1
Provincia	: LIMA	Departamento:	LIMA

Fuente	: ENTRADA AL ABLANDADOR	Fecha	: 7 / 6 / 95
Tomado por	: BACH. RONALD TISZA	Hora	: 8:30 a.m.

Aspecto	: INCOLORO	pH	: 7,43
Temperatura	: 19 °C	S.T.D.	: 810

CATIONES

Calcio (Ca ²⁺)	: 400,15 ppm como CaCO ₃
Magnesio (Mg ²⁺)	: 123,75 ppm como CaCO ₃
Sodio (Na ⁺)	: 31,76 ppm como CaCO ₃

Total	: 555,66 ppm como CaCO ₃

ANIONES

Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	: 176 ppm como CaCO ₃
Carbonato (CO ₃ ²⁻)	: 0 ppm como CaCO ₃
Oxidriló (OH ⁻)	: 0 ppm como CaCO ₃
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	: 302,08 ppm como CaCO ₃
Cloruro (Cl ⁻)	: 63,04 ppm como CaCO ₃
Nitrato (NO ₃ ⁻)	: 14,54 ppm como CaCO ₃

Total	: 555,66 ppm como CaCO ₃

Alcalinidad M	: 176 ppm como CaCO ₃	Fierro (Fe):	TRAZAS
Alcalinidad P	: 0 ppm de CaCO ₃	Turbidez	: 3 NTU
SiO ₂	: 8,41 mg/L	OD	: 3,6mg/L

Se observa que la dureza total es de 524 ppm como CaCO_3 , el cual es un valor elevado en comparación del que inicialmente se tenía en cuenta para los diseños de los intercambiadores iónicos.

Este cambio de dureza se debe a que el agua del pozo varía con el tiempo, por el "envejecimiento" del pozo. Y además las filtraciones de las aguas del río Chillón, porque las aguas superficiales como el de los ríos varían bruscamente con el tiempo.

c. CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA REGENERACIÓN DE LA RESINA:

En la **tabla N° 3.4** se establecen los valores de las condiciones de operación para la regeneración de la resina IR-120 ciclo Sodio, las cuales son promedios de muchos datos operacionales reales en el promedio de un año (Mayo de 1994 a Abril de 1995).

PROCESO	FLUJO (GPM)	TIEMPO (min)	REQ. DE AGUA (GAL)
Contralavado	75	11	825
Asentamiento	50	4	200
Inyección de la salmuera.			
Al 25% en peso (potable)	(6,6-9,9) ^[1]	40	264,2
Al 23,3% en peso industrial		40	396
Enjuague.	75	60	4 500

Tabla N° 3.4 : Condiciones de operación para la regeneración de la resina en el período Mayo 1 994 - Abril 1 995.

d. PRODUCCIÓN DE AGUA TRATADA:

Para el estudio de los requerimientos, se tiene que calcular la cantidad de agua potable e Industrial producida. Este estudio se realizó en un periodo de 1 año, de Mayo de 1994 a Abril de 1995. Se muestran como ejemplo de los perfiles de producción en los **gráficos N° 3.1, 3.2 y 3.3.**

Las cantidades que a continuación se indican en las tablas No 3.5 y 3.6, son reales a las condiciones de operación del Reactor en el período de tiempo anteriormente mencionado.

[1] El ingreso de la salmuera al ablandador es de forma de autoinyección al vacío generado por la válvula Solomactic.

PRODUCCION DE AGUA TRATADA (MAYO 94 ABRIL 95)

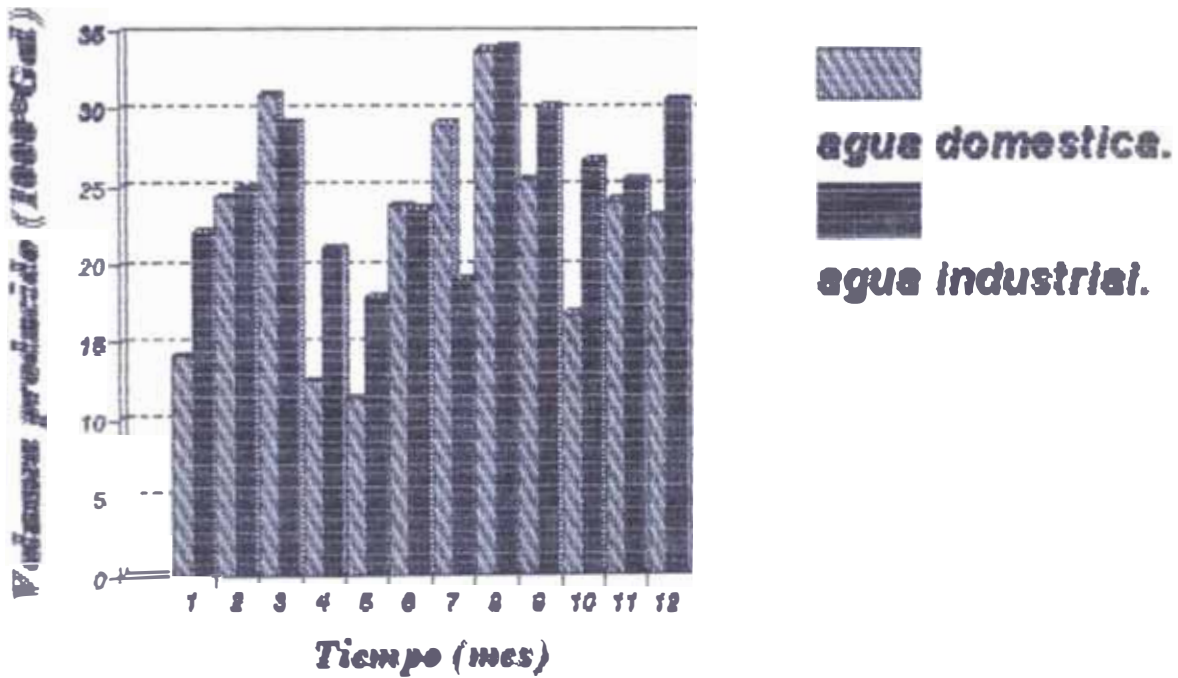


GRAFICO N° 3.1

PRODUCCION DE AGUA TRATADA (JUNIO 1994)

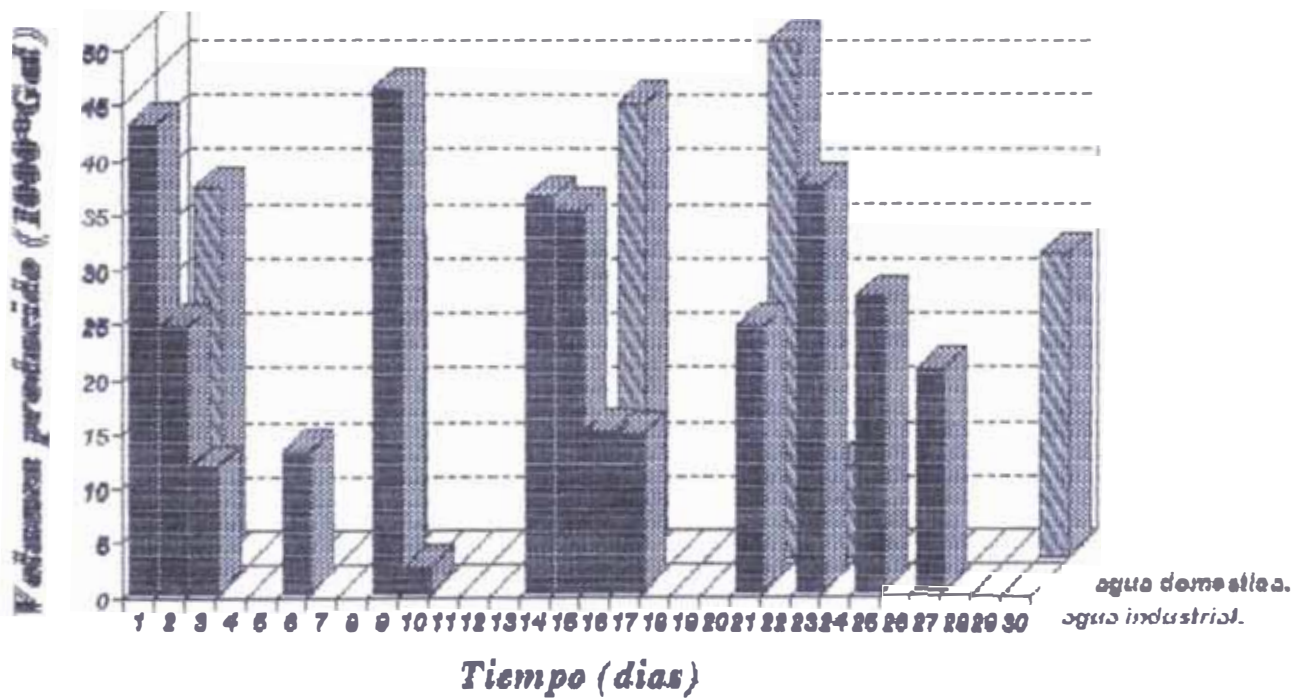


GRAFICO N° 3.2

MES	VOLUMEN DE AGUA PRODUCIDA (1000°GAL)	# DE DÍAS OPERADOS (DÍAS)	GAL/DÍA	Nº DE HORAS DE OPERACIÓN DE INTERCAMBIO/DÍA (HR/DÍA)	FLUJO (GPM)
Mayo 94	176,0	8	22000,0	8	45,8
Jun. 94	348,6	14	24907,1	8	51,8
Jul. 94	203,3	7	29057,1	8	60,5
Ago. 94	252,3	12	21025,0	8	43,8
Set. 94	214,5	12	17875,0	8	37,2
Oct. 94	235,8	10	23580,0	8	49,1
Nov. 94	132,5	7	18942,8	8	39,4
Dic. 94	306,2	9	34033,3	8	70,9
Ene. 95	211,1	7	30171,4	8	62,8
Feb. 95	240,3	9	26700,0	8	55,6
Mar. 95	356,3	14	25450,0	8	53,0
Abr. 95	214,0	7	30585,7	8	63,7

Tabla N° 3.5: Producción de Agua Industrial.

Por lo tanto:

Promedio de galones/ciclo producidos = 25 360,6 gal.

Promedio de GMP/ciclo producidos = 52,8 GPM

MES	VOLUMEN DE AGUA PRODUCIDA (1000°GAL)	# DE DÍAS OPERADOS (DIAS)	GAL/DÍA	Nº DE HORAS DE OPERACION DE INTERCAMBIO/DÍA (HR/DÍA)	FLUJO (GPM)
Mayo 94	126,8	9	14038,8	8	29,3
Jun. 94	219,4	9	24377,7	8	50,7
Jul. 94	216,8	7	30971,4	8	64,5
Ago. 94	86,9	7	12414,2	8	25,8
Set. 94	79,6	7	11371,4	8	23,6
Oct. 94	190,3	8	23787,5	8	49,5
Nov. 94	260,8	9	28977,7	8	60,3
Dic. 94	372,0	11	33827,2	8	70,4
Ene. 95	483,3	19	25442,1	8	53,0
Feb. 95	185,0	11	16821,2	8	35,0
Mar. 95	241,2	10	24120,0	8	50,2
Abr. 95	184,0	8	23000,0	8	47,9

Tabla N° 3.6: Producción de Agua Potable.

Por lo tanto:

Promedio de galones/ciclo producidos = 22 429,1 gal.

GALONES PROMEDIOS MEZCLADOS EN UN CICLO = 11 627,5 gal.

TOTAL = 31 881,6 gal.

Promedio de GPM/ciclo producidos = 46,7 GPM

GAL. POR MINUTO PROM. MEZCLADOS EN UN CICLO = 19,7 GPM

TOTAL = 66,4 GPM

e. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA RESINA UTILIZADA EN LA PLANTA DE AGUA:

A continuación se dan las principales características físicas y especificaciones técnicas sugeridas para la operación de la resina Amberlite-120 ciclo Sodio, según el catálogo del fabricante.

Esta resina es la que se utiliza actualmente en la planta de tratamiento de agua.

Forma iónica (como suministro).	Sodio
Forma.	Partículas esféricas.
Mezcla.	45 %.
Densidad.	48 a 54 lb/pie ³ .
Peso de embarque.	53 lb/pie ³ .
Tamaño efectivo.	0,5 mm.
Tamaño de partícula (húmedo).	16 a 50 malla.
Coefficiente de uniformidad.	1,8 máximo.
Contenidos de finos.	0,7% máximo traes malla 50.

TABLA N° 3.7: Características Físicas.

CONDICIÓN	SUGERENCIA
pH.	1 a 14
Temperatura máxima.	250 °F (121 °C)
Profundidad mínima del lecho.	24" (0,61 m)
Flujo promedio de retrolavado.	6 gpm/pie ²
Concentración de regenerantes.	10 % NaCl
Flujo promedio de la regeneración.	0,5 a 1 gpm/pie ³ .
	1,0 gpm/pie ³
Flujo promedio de enjuague.	inicialmente, luego 1,5 gpm/pie ³ .
Requerimiento del agua de enjuague.	25,75 gal/pie ³ .
Servicio promedio de flujo.	2 gpm/pie ³ .

Tabla N° 3.8: Condiciones Operación Sugeridas.

4. ESTADO ACTUAL Y ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS Y ACCESORIOS

a. DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA:

En la **figura N° 3.3**, se muestra la distribución de la planta, disposición de los equipos, cantidad y denominación de los mismos.

b. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES:

En este punto se realiza una inspección técnica, para poder establecer las especificaciones del tanque ablandador como equipo principal de la planta de tratamiento de agua. Ello se muestra en la **tabla N° 3.10**

De igual forma se procede para el equipo clorador de la planta de tratamiento de agua potable. Mostrándose en la **tabla N° 3.11**.

Para la realización de esta inspección se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- Toma de medidas de los equipos.
- Inspección visual de la parte interna y externa del ablandador.
- Pruebas del funcionamiento de instrumentos y accesorios.

c. ESPECIFICACIONES DE LOS ACCESORIOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA:

En la **tabla N° 12** se menciona los accesorios de la planta, las cuales están señalados en la figura N° 6.

d. TANQUES:

En la **tabla N° 3.12** se informa sobre las características técnicas de los tanques que están en todo el sistema en estudio. Para obtener la información se tuvo que desplazarse al tanque de reserva [1-TK], y realizar una inspección técnica para comprobarlas.

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIÓN	OBSERVACIÓN
Item.	[44]/[45].	----
Descripción.	Agua industrial/agua potable.	----
Dimensión.	54"φ * 72"/48"φ * 72".	----
Tipo de operación.	Automático.	En muchos casos manual.
Material.	Acero ASTM 242 rolado y soldado, con tapas y fondos bombeados y pestañas (toriesfericas).	---
Espesor de la plancha.	Cilindro y tapa 3/16".	---
Protección interna anticorrosiva.	Pintura bituminosa.	Totalmente deteriorada.
Protección externa anticorrosiva.	Pintura final adicional.	Parcialmente deteriorada
Man-hole.	11" * 15".	---
Toma de muestras.	Grifo.	---
Visor de expansión.	Mirilla de vidrio de 4" φ.	---
Eliminador de aire.	Tubería de descarga de acero galvanizada, con válvula de compuerta de bronce.	---
Control de dureza.	Colorimétrico 1220.	No operativo.
Toberas.	En lecho de grava de 3" de espesor y material de acero inoxidable.	---
Manómetros (entrada y salida).	Graduación 0-100 PSI 4" φ, con llaves de paso 1/4".	---
Medidor flujo.	Lectura instantánea en GAL y reset para servicio de lectura.	---
Válvula de control.	Tipo diafragma.	---
Tanque de salmuera.	Inyección por vacío.	---

Tabla Nº 3.9 : Tanque Ablandador (Agua Industrial y Agua Potable).

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIÓN	OBSERVACIÓN
Tipo.	Gas Cloro.	Existe peligro de fuga, por rotura o falla de los inyectores.
Funcionamiento.	Automático.	Puede ser por autoinyección o con apoyo de una bomba.
Control de dosificación.	Comparador de cloro (Kit de análisis) .	Esta operativo.
Manómetros.	0-150 PSI(6"φ) y 0-100 PSI(4"φ).	---
Válvula de aire y compuerta.	Diafragma.	---
Conexiones y tuberías.	Material sintético.	Existe problemas de rotura.
Balanza.	Para establecer la cantidad de cloro que permanece en los cilindros.	---

Tabla Nº 3.10: Clorador

POS	CANT	DENOMINACIÓN	MATERIAL
1	2	ϕ - 4" ϕ * 20'-00" long. sch. 40	Ac. ASTM-A53
2	7	ϕ - 3" ϕ * 20'-00" long. sch. 40	Ac. ASTM-A53
3	5	ϕ - 1½" ϕ * 20'-00" long. sch. 40	Ac. ASTM-A53
4	2	ϕ - 1¼" ϕ * 20'-00" long. sch. 40	Ac. ASTM-A53
5	2	ϕ - ¾" ϕ * 20'-00" long. sch. 40	Ac. ASTM-A53
6	3	ϕ - ½" ϕ * 20'-00" long. sch. 40	Ac. ASTM-A53
7	1	Niple rosc. 4" ϕ * 4" long.	Ac. ASTM-A53
8	65	Niple rosc. 3" ϕ * 4" long.	Ac. ASTM-A53
9	19	Niple rosc. 1½" ϕ * 2½ long.	Ac. ASTM-A53
10	5	Niple rosc. 1¼" ϕ * 2" long.	Ac. ASTM-A53
11	10	Niple rosc. ½" ϕ * 2" long.	Ac. ASTM-A53
12	5	Niple rosc. ½" ϕ * 2" long.	Ac. ASTM-A53
13	5	Tee 4" ϕ sch. 40 rosc.	Fe fundido
14	23	Tee 3" ϕ sch. 40 rosc.	Fe fundido
15	5	Codo rosc. 4" ϕ * 90° sch.40	Fe fundido
16	32	Codo rosc. 3" ϕ * 90° sch.40	Fe fundido
17	16	Codo rosc. 1½" ϕ * 90° sch.40	Fe fundido
18	15	Codo rosc. 1¼" ϕ * 90° sch.40	Fe fundido
19	5	Codo rosc. ¾" ϕ * 90° sch.40	Fe fundido
20	12	Codo rosc. ½" ϕ * 90° sch.40	Fe fundido
21	1	Codo rosc. 4" ϕ * 45° sch.40	Fe fundido
22	3	Codo rosc. 3" ϕ * 45° sch.40	Fe fundido
23	5	Bushing 4" ϕ - 3" ϕ .	Fe fundido
24	1	Bushin 4" - 1 ½" ϕ .	Fe fundido

e. BOMBAS:

ÍTEM	SERVICIO	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIÓN
1-B	Agua cruda del pozo al tanque de almacenamiento [1-TK]	HP=100, RPM=1765, Hz=60, A 246/142, V 220/320.	En buen estado.
2-B	Agua de enfriamiento de las pozas al ventilador de las torres de enfriamiento.	CV=150, RPM=1785, Hz=60, 220V/110KV.	En buen estado.
3-B	Agua de enfriamiento de las pozas al ventilador de las torres.	CV=150, RPM=1785, Hz=60, 220V/110KV.	En buen estado.
4-B	Agua de enfriamiento de las pozas al ventilador de las torres.	CV=150, RPM=1785, Hz=60, 220V/110KV.	En buen estado.
5-B	Agua al clorador.		

Tabla N° 3.13. Características Técnicas de las Bombas.

f. INSTRUMENTACION BÁSICA:

En este punto nos referimos sobre la instrumentación básica que tiene solamente la planta de producción de agua potable e industrial; esto se resume en las tablas N° 3.14 y N° 3.15.

Se considera en estudio:

- Medidores de flujo:
 - . Rotámetros.
 - . Badger Meter.

. Manómetros.

- Controlador de tiempo.
- Válvulas.
- Analizador de Dureza:

. D 1220 (HACH).

ÍTEM	CANT.	DESCRIP.	TAMAÑO	ESPECIFICACIÓN	MATERIAL	OBS.
32	16	Val. de compuerta	3" ϕ	Rosc. 150 psi.	Bronce	4 válvulas defectuosas
33	6	Val. de compuerta	1½" ϕ	Rosc. 150 psi.	Bronce	Todas en buen estado.
34	5	Val. de compuerta	¾" ϕ	Rosc. 150 psi.	Bronce	Todas totalmente defectuosas por el paso de la salmuera.
35	5	Val. de compuerta	½" ϕ	Rosc. 150 psi.	Bronce	4 válvulas defectuosas
	2	Val. check horizontal	3" ϕ	Rosc. 150 psi.	Bronce	Todas en buen estado.
37	5	Val. solomatic	-----	Mod 604.	Varios	Todas en buen estado.
39	10	Val. de diafragma	3" ϕ	Rosc.	Bronce	Todas en buen estado.
40	2	Val. de altitud	2" ϕ	Embr.	Varios	Trabadas.

Tabla N° 3.14: Válvulas.

ÍTEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIÓN
49	5	Rotámetro.	Requiere limpieza permanente.
48	10	Manómetro.	1 rotámetro para mantenimiento, otro colocar por ausencia.
D-1220	2	Analizador de dureza.	Nunca operaron desde su instalación.
BM - 1	2	Bagder Meter.	Mal operados.

Tabla N° 3.15. Indicadores y Controladores.

CAPITULO IV

TRATAMIENTO ACTUAL DEL AGUA EN LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO

1.- DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN

Las torres de enfriamiento pertenecen al sistema de enfriamiento secundario del reactor RP-10. El sistema secundario del reactor esta constituido por tres bombas de circulación, tres intercambiadores de calor tipo placa y tres torres de enfriamiento.

El fluido (agua) ingresa a las torres por la parte superior a través de un dispersor tipo panal de abeja y sale por la parte inferior para luego ser recirculado mediante las bombas a los intercambiadores y finalmente a los dispersores de las torres de enfriamiento.

Cada torre de enfriamiento disipa un diferencia de temperatura aproximadamente de 7 a 9 °C. Las torres están diseñadas de tal manera que permita la operación en diferentes combinaciones según

el modo de operación del reactor y según la disponibilidad del equipo.

La finalidad de las torres de enfriamiento es eliminar el incremento de temperatura generado por las reacciones nucleares en contacto con el agua desmineralizada que circula por el núcleo del reactor, mediante los intercambiadores de calor tipo placa.

Por lo tanto podemos concluir que el sistema secundario se encarga de enfriar al fluido del sistema primario, esto con la finalidad de mantener constante la temperatura en el núcleo del reactor.

2.- DIAGRAMA DE FLUJO

En la **Figura N° 4.1**: Se esquematiza el diagrama de flujo del sistema de enfriamiento secundario, donde se puede observar lo siguiente:

- tres torres de enfriamiento
- tres intercambiadores de calor tipo placa
- tres bombas de circulación, y
- cinco colectores de agua.

3.- CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN

Las condiciones actuales de operación que se detallan seguidamente, fueron tomados en el mismo período de estudio que para la planta de tratamiento de agua.

a. CONDICIONES GENERALES:

Actualmente al agua que circula por las torres de enfriamiento y por todo el sistema secundario, se le realiza un tratamiento químico anticrustante, anticorrosivo y una acción algicida.

Existe dos modos de dosificar los productos químicos. El primero, mensualmente cuando se realiza una reposición total del agua de las torres, y segundo, mensualmente cuando se realiza las operaciones de mantenimiento.

Las dosificaciones de productos químicos en litros, en las tres torres de enfriamiento, se resumen en la siguiente tabla:

	REPOSICIÓN	MANTENIMIENTO	TOTAL AL MES
ALGICIDA (lt)	12	9	39
ANTICRUSTANTE Y ANTICORROSIVO lt	9	6	27

Tabla N° 4.1. Dosificación de Productos Químicos en las Torres de Enfriamiento.

Las características de los productos químicos utilizados actualmente se resumen en la siguiente tabla: N° 4.2, de la Pág. 96.

	ANTICRUSTANTE Y ANTICORROSIVO	ALGICIDA
CARACTERÍSTICA	A base de dispersantes, Polimeros y cromatos.	a base de carbonatos.
DENSIDAD	1,22	1,045
pH	7-8	10-11
SOLUBILIDAD	completa	---
FORMA	liquido color amarillo naranja	liquido transparente, ligeramente amarillento.
REACCIÓN	---	alcalina.

Tabla N° 4.2: Características de los aditivos químicos.

b. CALIDAD DEL AGUA:

Para realizar la evaluación técnica del tratamiento del agua en las torres de enfriamiento, se necesita los análisis químicos del agua de reposición y del agua de purga. Los cuales se mencionan a continuación:

ANÁLISIS DEL AGUA DE REPOSICIÓN

Localidad : HUARANGAL N° Análisis : 3
Provincia : LIMA Departamento : LIMA

Fuente : SALIDA DEL ABLANDADOR Fecha : 12 / 6 / 95
Tomado por : BACH. RONALD TISZA Hora : 1:30 p.m.

Aspecto : INCOLORO pH : 7,46
Temperatura : 24 °C S.T.D. : 903

CATIONES

Calcio (Ca^{2+}) : 4,025 ppm de CaCO_3

Magnesio (Mg^{2+}) : 8,064 ppm de CaCO_3

Sodio (Na^+) : 544,72 ppm de CaCO_3

Total : 556,81 ppm de CaCO_3

ANIONES

Bicarbonato (HCO_3^-): 170,5 ppm como CaCO_3

Carbonato (CO_3^{2-}) : 0 ppm como CaCO_3

Oxidrilo (OH^-) : 0 ppm como CaCO_3

Sulfato (SO_4^{2-}) : 302,08 ppm como CaCO_3

Cloruro (Cl^-) : 73,23 ppm como CaCO_3

Nitrato (NO_3^-) : 11 ppm como CaCO_3

Total : 556,81 ppm como CaCO_3

Alcalinidad M : 170,5 ppm como CaCO_3

Alcalinidad P : 0 ppm como CaCO_3

SiO_2 : 12,85 m/L

Hierro (Fe) : TRAZAS

Turbidez : 3 NTU

Oxígeno disuelto : 4,1 m/L

ANÁLISIS DEL AGUA DE PURGA

Localidad : HUARANGAL Nº Análisis : 4
Provincia : LIMA Departamento : LIMA

Fuente : POZA DE LAS TORRES Fecha : 14 / 6 / 95
Tomado por : BACH. RONALD TISZA Hora : 9:00 a.m.

Aspecto : VERDOSO pH : 9.
Temperatura : 14 °C S.T.D. : 19 pp co Ca₃

CATIONES

Calcio (Ca²⁺) : 52 ppm como CaCO₃

Magnesio (Mg²⁺) : 16 ppm como CaCO₃

Sodio (Na⁺) : 1434.8 ppm como CaCO₃

Total : 1502.8 ppm como CaCO₃

ANIONES

Bicarbonato (HCO₃⁻): 385 ppm como CaCO₃

Carbonato (CO₃²⁻) : 182 ppm como CaCO₃

Oxidrilo (OH⁻) : 0 ppm como CaCO₃

Sulfato (SO₄⁻) : 781.25ppm como CaCO₃

Cloruro (Cl⁻) : 117,3 ppm como CaCO₃

Nitrato (NO₃⁻) : 37.25 ppm como CaCO

Total : 1502.8 ppm de CaCO₃

Alcalinidad P : 91 ppm como CaCO₃

Alcalinidad M : 567 ppm como CaCO₃

SiO₂ : 42.75 ppm como CaCO₃

Fierro (Fe) : 0.8 ppm como CaCO₃

Turbidez : 20 NTU

Oxígeno disuelto : 84.4 ppm como CaCO₃

c. EL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA

ORIGEN : RP-10

MUESTRA	N° COLONIAS/ml	TIPO
1	13,226 col.	Bacterias aerobicas
2	22,800 col.	Bacterias y hongos y levaduras

CAPITULO V

EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA ACTUAL DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE E INDUSTRIAL

1.- GENERALIDADES

La evaluación técnica de la planta de producción de agua potable e industrial, enfoca los siguientes puntos:

- a).- Realizar el balance de masa del agua industrial en el diagrama de flujo de la **figura N° 5.1**.
- b).- Analizar el agua potable producido por la planta.
- c).- Analizar el agua industrial producido por la planta.
- d).- Calcular los requerimientos del reactor a máxima potencia operando las 24 horas, para establecer la cantidad de agua potable e industrial que requerirá el centro nuclear.

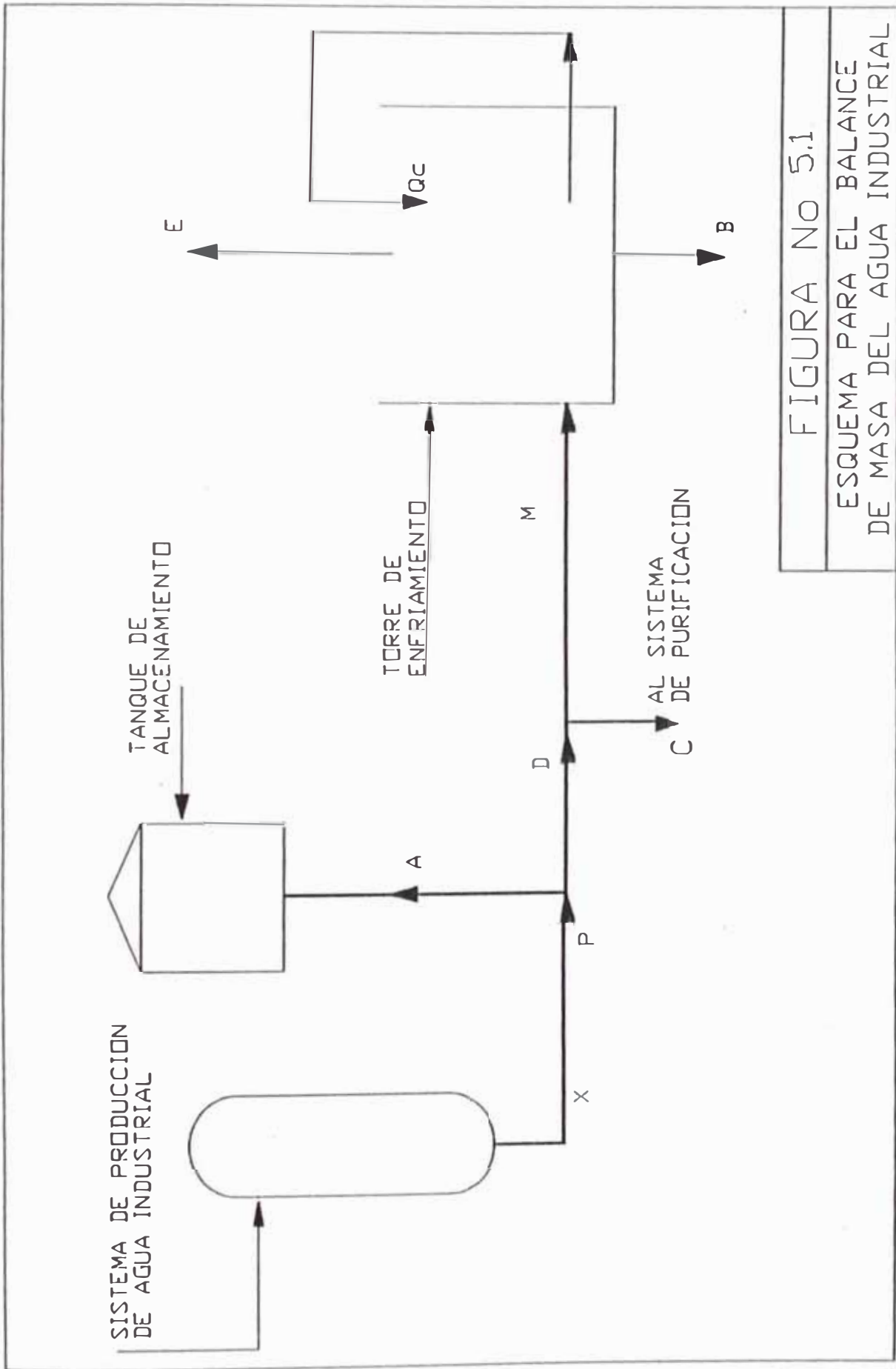


FIGURA No 5.1
 ESQUEMA PARA EL BALANCE
 DE MASA DEL AGUA INDUSTRIAL

- e).- Evaluar la flexibilidad operativa de la capacidad de almacenamiento del agua potable e industrial.
- f).- Determinación de la capacidad real de intercambio iónico de las resinas en la planta.
- g).- Evaluar los instrumentos de control.

2.- REQUERIMIENTOS DE AGUA INDUSTRIAL

Los requerimientos en el período de estudio, Mayo de 1994 a Abril de 1995 fueron calculados en 52,8 GPM. Este valor representa un promedio de la producción total de agua de las 3 unidades ablandadoras para agua industrial.

En el siguiente cálculo, se estima la producción de agua industrial cuando el reactor opere las 24 horas del día y a máxima potencia. En el período de estudio de un año se considera que el reactor operó a un promedio de 12 horas diarias, entonces en el nuevo cálculo se genera un factor de 2 aproximado a los valores hallados en dicho estudio. Esto tal vez no se cumpla totalmente en el futuro pero los rangos de seguridad así lo establecen.

El valor calculado servirá para utilizarlo en las nuevas alternativas de sistema de tratamiento de agua.

MES	VOLUMEN DE AGUA PRODUCIDA (1000° GAL)	# DE DÍAS OPERADOS (DÍAS)	Nº DE HORAS DE OPERACIÓN DE INTERCAMBIO/DÍA (HR/DÍA)		FLUJO (GPM)
			GAL/DÍA		
Mayo	1364,0	31	44000,0	8	91,7
Jun.	1494,0	30	49800,0	8	103,8
Jul.	1800,7	31	58087,1	8	121,0
Ago.	1303,6	31	42051,6	8	87,6
Set.	1072,5	30	35750,0	8	74,5
Oct.	1462,0	31	47161,3	8	98,3
Nov.	1135,7	30	37856,7	8	78,9
Dic.	2109,4	31	68045,2	8	141,8
Ene.	1869,7	31	60312,9	8	125,7
Feb.	1495,2	28	53400,0	8	111,3
Mar.	1577,9	31	50900,0	8	106,0
Abr.	1834,3	30	61142,9	8	127,4

Tabla. N° 5.1 Producción de Agua Industrial.

Por lo tanto:

Galones promedios producidos en un ciclo = 50 709,0 gal.

Galones por minuto promedios producidos en un ciclo = 105,7 GPM

3.- REQUERIMIENTOS DE AGUA POTABLE

Los requerimientos en el período de estudio, Mayo de 1994 a Abril de 1995 fueron calculados en 46,7 GPM. Este valor representa un promedio de la producción total de agua de las 2 unidades ablandadoras para agua potable.

Para el siguiente cálculo de los requerimientos futuros de agua potable, se considera las mismas referencias. Teniendo presente que el factor 2 generado para agua industrial, no puede ser el mismo para agua potable, porque la operación del reactor no afecta directamente en el consumo de agua potable. Por lo tanto se considera un factor de 1,5 aproximado para los cálculos correspondientes.

MES	VOLUMEN DE AGUA PRODUCIDA (1000 ^o GAL)	# DE DÍAS OPERADOS		Nº DE HORAS DE OPERACIÓN DE INTERCAMBIO/DÍA (HR/DÍA)	FLUJO (GPM)
		(DÍAS)	GAL/DÍA		
Mayo	655,1	31	21133,1	8	44,0
Jun.	1097,0	30	36527,5	8	76,0
Jul.	1440,2	31	46456,4	8	96,8
Ago.	577,3	31	18621,8	8	38,8
Set.	511,7	30	17057,5	8	35,6
Oct.	1106,1	31	35680,7	8	74,3
Nov.	1304,0	30	43467,5	8	90,5
Dic.	1572,5	31	50726,6	8	105,7
Ene.	1182,8	31	38155,7	8	79,5
Feb.	706,4	28	25226,8	8	52,6
Mar.	1121,6	31	36179,0	8	75,4
Abr.	1035,0	30	34500,0	8	71,9

Tabla N° 5.2. Producción de Agua Potable.

Por lo tanto:

Galones promedios producidos en un ciclo = 31 881,6 gal.

Galones promedios mezclados en un ciclo = 15 940,8 gal.

Galones por minuto promedios producidos en un ciclo = 70,1 GPM.

Galones por minuto promedios mezclados en un ciclo = 29,6 GPM.

total = 99,6 GPM.

4.- BALANCE PROMEDIO Y FUTURO DEL AGUA INDUSTRIAL Y POTABLE

a.- CONSIDERACIONES PREVIAS:

a.1.- Los siguientes cálculos se referieren sólo al consumo y producción del agua industrial, por que el consumo de agua potable no es relevante, es decir este consumo solo es por el personal y ambientes higiénicos del Centro Nuclear RACSO. Cuya estimación para condiciones futuras se encuentran en el punto 4 de este capítulo.

a.2.- En un balance de masa para la situación actual los valores a promediar corresponde cuando las unidades de operación operaban normalmente.

El valor del flujo (P) de agua blanda producido por los ablandadores es un promedio de todos los valores en el mencionado período, no se considera los registrados en situaciones de emergencia en unidades de operación. Estos valores se mencionaron en el punto 3d del capítulo III, resumidos en la tabla N° 3.5.

a.3.- El futuro balance^[1] presenta valores uno mayor y otros que se consideran casi constantes por que estos solo variarán con la

1 El futuro balance se refiere cuando el reactor opere las 24 horas del día y a máxima potencia.

potencia del reactor, como el estudio y el promedio consideran que el reactor opere a máxima potencia, entonces no existe variación. Entonces,

- El flujo de agua industrial (P) : aumentó de 52,8 GPM a 105,7 GPM.

El flujo de reposición (M) a las torres de enfriamiento se considera que permanece constante en 41,82 GPM, por lo mencionado anteriormente.

- El flujo de recirculación (Qc) de las torres de enfriamiento permanece constante en 2421,65 GPM, por lo mencionado anteriormente.
- La variación de la temperatura disipada en las torres de enfriamiento (ΔT) permanece constante en 4,9°C, la cual representa la variación de temperatura a máxima potencia del reactor.

b.- CÁLCULOS:

Haciendo un balance de masa, considerando un sistema abierto flujos constantes en cada punto, tenemos:

$$\text{FLUJO MASICO QUE ENTRA} - \text{FLUJO MASICO QUE SALE DEL MISMO} = 5.1$$

Y de no presentar apreciables desviaciones de medición en el medidor instalado en el punto X (figura N° 3.5) de la producción de agua blanda, y además teniendo en cuenta lo expuesto en 4.a., los balances respectivos son los siguientes:

b.1.- CONSUMO Y PRODUCCIÓN, ACTUAL PROMEDIO DE AGUA

BLANDA

Datos:

P : Flujo de agua ablandada (GPM).

M : Flujo de reposición (GPM).

Qc : Flujo de recirculación (GPM).

T₂-T₁ : Variación de temperatura disipada (°c).

C : Flujo de reposición a provisión (GPM).

Valores actuales:

$$P_1 = 52,8$$

$$M = 41,8$$

$$Qc = 2\,421,7$$

$$T_2 - T_1 = 4,9$$

$$C = 0,03$$

DEL GRÁFICO N°5:

Formulas:

$$E = Qc * (T_2 - T_1) / 560 \dots\dots\dots (1)$$

$$B = M - E \dots\dots\dots (2)$$

$$A_1 = P_1 - E - B - C \dots\dots\dots (3)$$

$$D_1 = C_1 + M \dots\dots\dots (4)$$

Para verificar:

$$D_1 = P_1 - A_1 \dots\dots\dots (5)$$

Resultados:

De (1): E = 21,2 (GPM)

De (2): B = 20,6 (GPM)

De (3): A₁ = 10,9 (GPM)

De (4): D₁ = 41,9 (GPM)

De (5): D₁ = 41,9 (GPM)

	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
P	Flujo de agua recién ablandada.	GPM	52,8
A	Flujo de agua hacia el tanque.	GPM	10,9
D	Flujo de agua para distribución.	GPM	41,9
C	Flujo de agua hacia provisión.	GPM	0,03
M	Flujo de reposición.	GPM	41,9
E	Flujo de evaporación.	GPM	21,2
B	Flujo de purga.	GPM	20,6
Qc	Flujo de recirculación.	GPM	2421,7

Tabla N° 5.3: Resumen de Resultados.

b.2.- CONSUMO Y PRODUCCIÓN, FUTURO DE AGUA BLANDA

Datos:

P : Flujo de agua ablandada (GPM).

M : Flujo de reposición (GPM).

Qc : Flujo de recirculación (GPM).

T_2-T_1 : Variación de temperatura disipada (°C).

C : Flujo de reposición a provisión (GPM).

Valores futuros:

$P_1 = 105,7$

M = 41,9

Qc = 2421,7

$T_2-T_1 = 4,9$

C = 0,03

DE LA FIGURA N° 5.1

Formulas:

$$E = Q_c * (T_2 - T_1) / 560 \dots\dots (1)$$

$$B = M - E \dots\dots\dots (2)$$

$$A_1 = P_1 - E - B - C \dots\dots\dots (3)$$

$$D_1 = C_1 + M \dots\dots\dots (4)$$

Para verificar:

$$D_1 = P_1 - A_1 \dots\dots\dots (5)$$

Resultados:

De (1): $E = 21,2$ (GPM)

De (2): $B = 20,6$ (GPM)

De (3): $A_1 = 63,9$ (GPM)

De (4): $D_1 = 41,9$ (GPM)

De (5): $D_1 = 41,9$ (GPM)

	D	SCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
P		Flujo de agua recién ablandada.	GPM	105,7
A		Flujo de agua hacia el tanque.	GPM	63,9
D		Flujo de agua para distribución.	GPM	41,9
C		Flujo de agua hacia provisión.	GPM	0,03
M		Flujo de reposición.	GPM	41,9
E		Flujo de evaporación.	GPM	21,2
B		Flujo de purga.	GPM	20,6
Qc		Flujo de recirculación.	GPM	2421,7

Tabla N° 5.4: Resumen de Resultados.

5.- ANÁLISIS DEL AGUA POTABLE

ANÁLISIS DE AGUA

Localidad	:	HUARANGAL	N° Análisis	:	2
Provincia	:	LIMA	Departamento	:	LIMA

Fuente	:	SALIDA DEL ABLANDADOR	Fecha	:	13/ 6 /95
Tomado por	:	BACH. RONALD TISZA	Hora	:	10:0a.m.

Aspecto	:	INCOLORO	pH	:	7,33
Temperatura	:	20 °C	S.T.D.	:	875

CATIONES

Calcio (Ca^{+2})	:	132,59 ppm como CaCO_3
Magnesio (Mg^{+2})	:	59,79 ppm como CaCO_3
Sodio (Na^{+1})	:	376,02 ppm como CaCO_3

Total	:	568,40 ppm como CaCO_3

ANIONES

Bicarbonato (HCO_3^-)	:	174,8 ppm como CaCO_3
Carbonato (CO_3^{-2})	:	0 ppm como CaCO_3
Oxidrilo (OH^{-1})	:	0 ppm como CaCO_3
Sulfato (SO_4^{-2})	:	301,1 ppm como CaCO_3
Cloruro (Cl^{-1})	:	79,4 ppm como CaCO_3
Nitrato (NO_3^{-1})	:	13,1 ppm como CaCO_3

Total	:	568,40 ppm como CaCO_3

Alcalinidad M	:	174,8 ppm como CaCO_3
Alcalinidad P	:	0 ppm como CaCO_3
Fierro (Fe)	:	TRAZAS
SiO_2	:	9,6 mg/l
Turbidez	:	3 NTU
OD	:	3,9 mg/l

Para este análisis se tomo 4 muestras de agua potable recién tratada, para el estudio se eligió el análisis mas representativo.

Se observa después de este reporte, que la dureza es de 192,3 ppm de CaCO_3 .

Los métodos de análisis se explicados sucintamente en el apéndice 1.

En comparación con el agua de ingreso:

El Ca^{2+} disminuye de 400,15 a 132,59 ppm de CaCO_3 ,

El Mg^{2+} disminuye de 123,75 a 59,79 ppm de CaCO_3 ,

El Na^{1+} aumenta de 31,76 a 376,02 ppm de CaCO_3 ,

STD aumenta de 810 a 875,

El pH se mantiene constante, y,

Otros elementos se mantienen en valores muy próximos.

Por lo tanto podemos afirmar que es el comportamiento de una resina catiónica de ciclo Sodio.

Cabe mencionar que el agua potable se obtiene actualmente de una mezcla, de agua blanda tratada con agua cruda. Regulándose la dureza final mediante los flujos del agua blanda y el flujo del agua cruda.

6.- ANÁLISIS DEL AGUA INDUSTRIAL

ANÁLISIS DE AGUA

LOCALIDAD	: HUARANGAL	N° ANÁLISIS	: 3
PROVINCIA	LIMA	DEPARTAMENTO	: LIMA

FUENTE	: SALIDA DEL ABLANDADOR	FECHA	: 12 / 6 / 95
TOMADO POR	: BACH. RONALD TISZA	HORA	: 1:30 P.M.

ASPECTO	: INCOLORO	PH	: 7,46
TEMPERATURA:	24 °C	S.T.D.	: 903

CATIONES

Calcio (Ca ²⁺)	: 4,025 ppm como CaCO ₃
Magnesio (Mg ²⁺)	: 8,064 ppm como CaCO ₃
Sodio (Na ¹⁺)	: 544,72 ppm como CaCO ₃

Total	: 556,81 ppm como CaCO ₃

ANIONES

Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	: 170,5 ppm como CaCO ₃
Carbonato (CO ₃ ²⁻)	: 0 ppm como CaCO ₃
Oxidrilo (OH ¹⁻)	: 0 ppm como CaCO ₃
Sulfato (SO ₄ ⁻)	: 302,08 ppm como CaCO ₃
Cloruro (Cl ¹⁻)	: 73,23 ppm como CaCO ₃
Nitrato (NO ₃ ¹⁻)	: 11 ppm como CaCO ₃

Total	: 556,81 ppm como CaCO ₃

Alcalinidad M	: 170,5 ppm de CaCO ₃
Alcalinidad P	: 0 ppm de CaCO ₃
SiO ₂	: 12,85 m/l
Fierro (Fe)	: TRAZAS
Turbidez	: 3 NTU
Oxígeno disuelto	: 4,1 m/l

Para este análisis se tomaron 6 muestras de agua industrial recién tratada, y para el estudio se eligió el análisis mas representativo.

Se observa después de este reporte, que la dureza es de 12,08 ppm de CaCO_3 .

Los métodos de análisis están explicados en el apéndice 1.

En comparación con el agua de ingreso:

El Ca^{2+} disminuye de 400,15 a 4,025 ppm de CaCO_3 ,

El Mg^{2+} disminuye de 123,75 a 8,064 ppm de CaCO_3 ,

El Na^{1+} aumenta de 31,76 a 544,72 ppm de CaCO_3 ,

STD aumenta de 810 a 903,

El pH se mantiene casi constante, y,

Otros elementos se mantienen en valores muy próximos.

Por lo tanto se puede afirmar que corresponde al comportamiento de una resina catiónica de ciclo Sodio.

7.- ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

a.- ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA DE TANQUE(1-TK):

ELEMENTOS ANALIZADOS	CANTIDAD	UNIDAD
Numeración de microorganismos aerobios mesófilos viables.	6	ufc/ml.
Numeración de COLIFORMES totales.	Ausente	-----
Numeración de hongos y levaduras.	1	ufc/ml.
Coliformes fecales.	Ausente	-----
TCBS (<i>Vibrio Cholerae</i>).	Ausente	-----

Tabla N° 5.5: Análisis Microbiológico del agua de tanque (1-TK).

CONCLUSIÓN : Agua de buena calidad microbiológica.

8.- COMPARACIÓN ENTRE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL DISEÑO, ACTUALES Y FUTURAS REQUERIDAS

En las tablas N° 5.6 y N° 5.7 se estudia las condiciones de operación generales para la obtención del agua industrial y potable respectivamente. El estudio se realiza mediante una comparación de estas en el momento que se realizó el diseño con las condiciones actuales y futuras.

De las condiciones de operación futuras algunas fueron calculadas para cumplir los requerimientos mínimos en el futuro, y de los demás serán calculados en el capítulo VIII después de haber seleccionado la mejor alternativa.

	UNIDAD	DISEÑO	ACTUAL	FUTURO
Flujo a tratar.	GPM	110	52,8	105,7
Tiempo de producción.	hr.	8	8	8
Número de ciclos de producción/día.	u.	1	1	FCA
Tiempo de regeneración.	hr.	NEI	3	FCA
Número de ciclos de regeneración/día.	u.	NEI	1	FCA
Producción de agua industrial/ciclo.	gal.	52 840	20 254,1	50 709
Dureza del agua industrial.	ppm como CaCO ₃	0	12	
Volumen de resina expandida Amberlite 120 ciclo Sodio.	pie ³ .	47,71	48,7	FCA
Regenerante: NaCl al 23.3%	kg.	NEI	350	FCA

Tabla N° 5.6: Características del Sistema de Agua Industrial.

	UNIDAD	DISEÑO	ACTUAL	FUTURO
Flujo a tratar.	GPM	121	66,42	99,63
Tiempo de producción.	hr.	8	8	8
Número de ciclos de producción/día.	u.	1	1	FCA
Tiempo de regeneración.	hr.	NEI ^[2]	3	FCA ^[3]
Número de ciclos de regeneración/día.	u.	NEI	1	FCA
Producción de agua industrial/ciclo.	gal.	58 080	31 881,6	47 822
Dureza del agua industrial.	ppm como CaCO ₃	150	192,4	150
Volumen de resina expandida Amberlite 120 ciclo Sodio.	pie ³ .	27,72	38,13	FCA
Regenerante: NaCl al 23.3%	kg.	NEI	250	FCA

Tabla N° 5.7: Características del Sistema de Agua Potable.

De estas tablas se concluye que:

- El flujo de agua industrial a disminuido en el 52% de su valor como diseño.
- El flujo de agua potable también disminuyó en 45,1% de su valor como diseño.

El valor máximo de dureza permitidos para el agua potable se excede en 26,6% de su valor como diseño.

² NEI : No existe información.

³ FCA : Futuro cálculo.

9.- EVALUACIÓN DE LA FLEXIBILIDAD OPERATIVA DE LA ACTUAL CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA INDUSTRIAL

A.- CONSIDERACIONES GENERALES:

- a.1.- Para evaluar la flexibilidad operativa del sistema de almacenamiento de agua industrial, bastará conocer la disponibilidad de horas con que se cuenta de agua industrial, para abastecer a los requerimientos calculados, durante una situación de emergencia o aquella a condiciones normales de operación.
- a.2.- En una situación de emergencia, como en el caso de una caída de tensión, o en una a condiciones normales de operación en la que la producción se ve interrumpida por alguna causa, durante la regeneración por ejemplo, la única fuente de suministro de industrial es la almacenada en el tanque [2-TK].
- a.3.- Será necesario hacer un balance de masa alrededor del tanque de agua industrial.
- a.4.- A condiciones normales, puede utilizarse los datos del balance futuro (punto 2 de este capítulo), para así evaluar la velocidad de descenso del nivel de agua en el tanque, y encontrar la disponibilidad en horas de agua, antes de llegar a un nivel crítico.
- a.5.- Para una condición de emergencia debe considerarse lo siguiente:

- * El flujo de agua a las torres disminuye en un 20% sobre aquel a condiciones normales o a condiciones normales máximas.

Una condición normal máxima, es aquella en la que los requerimientos de agua industrial (de enfriamiento) por las unidades de procesos aumentan, cuando el reactor opera a su máxima potencia, esto por que el reactor está liberando más energía y por lo tanto necesita mayor flujo de agua para su enfriamiento.

A.6.- Luego se estimará para verificar, la capacidad de almacenaje de agua industrial, para los actuales requerimientos teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente.

A.7.- Para estimar la capacidad de almacenaje de un tanque debe considerarse lo siguiente:

- * El tanque o tanques, tienen un volumen crítico, que depende de su ubicación en la planta, para el caso del tanque [2-TK], el volumen crítico es el correspondiente a 1' de altura a partir del piso.
- * El volumen total debe contener al volumen de agua necesaria para los requerimientos, durante el tiempo que dura la regeneración del ablandador.
- * Además, debe considerarse, el volumen de agua necesaria, cuando ocurre una caída de tensión o una situación de emergencia, puede asumirse que dicha situación tiene lugar

durante un periodo de 3 horas (datos estadísticos indican que ha ocurrido emergencias hasta 2,5 hrs.)

- * No existe problemas en caso de presencia de gases, esto por que el tanque es abierto. En caso contrario debe ofrecer un espacio libre, puede asumirse como el correspondiente a la altura de 20/80 de la altura efectiva.

B.- CÁLCULOS:

b.1.- Flexibilidad Operativa De La Capacidad De Almacenamiento De Agua Industrial

b.1.1.- Datos:

- * Volumen crítico (1' en 2-TK) es $4,6 \text{ m}^3$.
- * $\Delta V, (\text{m}^3) = \text{Volumen disponible a "x" m de nivel} - \text{volumen crítico.}$
- * Las Horas Disponibles de Agua Industrial Directas (HDDAID): siempre son 8 hr.; porque es el tiempo que produce agua industrial la planta ininterumpidamente sin necesidad de almacenarlo.
- * Las Horas Disponibles De Agua Industrial Indirectas (HDDAII): es el tiempo que puede abastecerse de agua almacenada ininterumpidamente.
- * Las Horas Disponibles Totales (HDT): es el tiempo total con que se puede contar con agua industrial en el Centro Nuclear RACSO.

* De la figura N° 5.1, y consideraciones anteriores, tenemos:
(en GPM).

	OP. NORM. (1)	OP. NORM MÁX (2)	OP. EMERG. 1	OP. EMERG. 2
P	52,8	105,7	42,2	84,6
A	10,9	63,9	0,39	42,7
D	41,9	41,9	41,9	41,9
C	0,03	0,03	0,03	0,03
M	41,9	41,8	41,8	41,8
E	21,2	21,2	21,2	21,2
B	20,6	20,6	20,6	20,6
Qc	2421,7	2421,7	2421,7	2421,7

Tabla N° 5.8: Resumen de los Flujos del Sistema.

DONDE:

Op.Norm. (1) : Operación Normal, en todas las unidades de proceso.

Op.Norm. Máx (2): Operación Normal Máxima, ej. bombas de las torres de enfriamiento a máxima potencia.

Op.Emerg. 1: Operación de emergencia, que ocurre cuando la planta estaba operando normalmente.

Op.Emerg. 2: Operación de emergencia que ocurre cuando la planta estaba operando a condiciones normales máxima.

b.1.2.- Cálculos: (De la tabla N° 5.8)

b.1.2.1.- Considerando el Caso de Operación Normal:

$$\text{Flujo de ascenso} = A = 10,95 \text{ GPM.}$$

$$\text{Flujo de descenso} = C + D = 41,88 \text{ GPM.}$$

$$\Delta V = 10,95 * 8 * 60 = 6\,471,228 \text{ gal.}$$

Horas Disponibles De Agua Industrial Directas, : (HDDAID).

$$\text{HDDAID} = 8 \text{ hr.}$$

Horas Disponibles De Agua Industrial Indirectas, por 10% de seguridad: (HDDAII).

$$\text{HDDAII} = (6\,471,228) / (41,88 * 1.10)$$

$$\text{HDDAII} = 140,471 \text{ min.} = 2,34 \text{ hr.}$$

Horas Disponibles Totales (HDT):

$$\text{HDT} = 10,34 \text{ hr.}$$

b.1.2.2.- Considerando el Caso de Operación Normal Máxima:

$$\text{Flujo de ascenso} = A = 63,85 \text{ GPM.}$$

$$\text{Flujo de descenso} = C + D = 41,88 \text{ GPM.}$$

$$\Delta V = 63,85 * 8 * 60 = 30\,648,0 \text{ gal.}$$

Horas Disponibles De Agua Industrial Directas, : (HDDAID).

$$\text{HDDAID} = 8 \text{ hr.}$$

Horas Disponibles De Agua Industrial Indirectas, por 10% de seguridad: (HDDAII).

$$\text{HDDAII} = (30\,648,0) / (41,88 * 1.10)$$

$$\text{HDDAII} = 665,277 \text{ min.} = 11,08 \text{ hr.}$$

Horas Disponibles Totales (HDT):

$$\text{HDT} = 19,08 \text{ hr.}$$

b.1.2.3.- Considerando El Caso De Emergencia 1:

Flujo de ascenso = A = 0,39 GPM.

Flujo de descenso = C + D = 41,88 GPM.

$$\Delta V = 0,39 * 8 * 60 = 187,2 \text{ gal.}$$

Horas Disponibles De Agua Industrial Directas, : (HDDAID).

$$\text{HDDAID} = 8 \text{ hr.}$$

Horas Disponibles De Agua Industrial Indirectas, por 10% de seguridad: (HDDAII).

$$\text{HDDAII} = (187,2) / (41,88 * 1.10)$$

$$\text{HDDAII} = 4,06 \text{ min.} = 0,06 \text{ hr.}$$

Horas Disponibles Totales (HDT):

$$\text{HDT} = 8,06 \text{ hr.}$$

b.1.2.4.- Considerando El Caso De Emergencia 2:

Flujo de ascenso = A = 42,71 GPM.

Flujo de descenso = C + D = 41,88 GPM.

$$\Delta V = 42,71 * 8 * 60 = 20\,500,8 \text{ gal.}$$

Horas Disponibles De Agua Industrial Directas, : (HDDAID).

$$\text{HDDAID} = 8 \text{ hr.}$$

Horas Disponibles De Agua Industrial Indirectas, por 10% de seguridad: (HDDAII).

$$\text{HDDAII} = (20\ 500,8) / (41,88 * 1.10)$$

$$\text{HDDAII} = 445,01 \text{ min.} = 7,41 \text{ hr.}$$

Horas Disponibles Totales (HDT):

$$\text{HDT} = 15,41 \text{ hr.}$$

De esta forma puede elaborarse la tabla N° 5.9 dada a continuación:

	HDDAID	HDDAII	HDT
OPERACIÓN NORMAL.	8 hr.	2,34 hr.	10,34 hr.
OPERACIÓN NORMAL MÁXIMA.	8 hr.	11,08 hr.	19,08 hr.
CASO DE EMERGENCIA 1.	8 hr.	0,06 hr.	8,06 hr.
CASO DE EMERGENCIA 2.	8 hr.	7,41 hr.	15,41 hr.

Tabla N° 5.9 : Resumen de resultados.

b.2.- Evaluación De La Capacidad De Almacenamiento De Agua Industrial Para Requerimientos Actuales.

b.2.1.- Datos:

En el período de estudio de un año, se tiene los siguientes datos, del sistema de tratamiento de agua industrial.

* Tiempo de duración del ciclo de regeneración, considerando el tiempo muerto antes y después de ella:

= 4,26 hr.

Del punto 9.b.1 (GPM).

Se considera para este análisis la operación normal 1 y la operación de emergencia 1.

	Op.Normal 1	Op. Emergencia 1.
CONSUMO (GPM).	52,8	42,24

Se considera, que en una emergencia el reactor sigue operando pero la planta de ablandamiento supuestamente no opera, es por eso, éste cálculo demostrará si existe o no deficit en el volumen del tanque.

b.2.2.- Datos:

1.- La capacidad de almacenamiento, para las condiciones actuales de refinación deberá comprender los siguientes volúmenes:

- Volumen crítico.
- Volumen de operación máxima.
- Volumen de regeneración.

2.- VOLUMEN CRITICO: $4,6 \text{ m}^3$.

3.- VOLUMEN DE EMERGENCIA: Asumiendo una emergencia de 3 horas

$$\begin{aligned} \text{- Vol. de emergencia} &= 3 * 42,24 * 60. \\ &= 7\ 603,2 \text{ gal.} \\ &= 28,77 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

4.- VOLUMEN DE REGENERACIÓN:

$$\begin{aligned} \text{Vol. de regen.} &= 4,26 * 52,8 * 60. \\ &= 13\ 495,68 \text{ gal.} \\ &= 51,08 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

5.- VOLUMEN TOTAL REQUERIDO EN EL FUTURO:

$$\begin{aligned} \text{Vol. crítico} &= 4,6 \text{ m}^3. \\ \text{Vol. de emergencia} &= 28,77 \text{ m}^3. \\ \text{Vol. de regeneración} &= 51,08 \text{ m}^3. \\ \text{Vol. Total} &= 84,45 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

6.- DÉFICIT DE VOLUMEN DE TANCAJE:

$$\begin{aligned} \text{Volumen disponible} &= 150 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen requerido} &= 84,45 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

====> NO EXISTE DÉFICIT

b.3.- Evaluación De La Capacidad De Almacenamiento De Agua Industrial Para Requerimientos Futuros

b.3.1.- Datos:

En el periodo de estudio de un año, se tiene los siguientes datos, del sistema de tratamiento de agua industrial.

Tiempo de duración del ciclo de regeneración, considerando el tiempo muerto antes y después de ella:

= 4,26 hr.

Del punto b.1 (GPM).

Se considera para este análisis la operación máxima 2 y la operación de emergencia 2. Esto por que cuando opere el reactor a máxima potencia también puede ocurrir emergencias.

	Op. Emerg2.	Op. Normal Máxima 2.
CONSUMO (GPM).	84,56	105,7

Se considera, que en una emergencia el reactor sigue operando pero la planta de ablandamiento supuestamente no opera, es por eso, esté cálculo demostrará si existe o no déficit de volumen de tanque.

b.3.2.- Datos:

1.- La capacidad de almacenamiento, para las condiciones actuales de refinación deberá comprender los siguientes volúmenes:

- Volumen crítico.
- Volumen de operación máxima.
- Volumen de regeneración.

2.- **VOLUMEN CRITICO: 4,6 m³.**

3.- **VOLUMEN DE EMERGENCIA:** Asumiendo una emergencia de 3 horas

$$\begin{aligned} \text{- Vol. de emergencia} &= 3 * 84,56 * 60. \\ &= 15\ 220,8 \text{ gal.} \\ &= 57,61 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

4.- **VOLUMEN DE REGENERACIÓN:**

$$\begin{aligned} \text{Vol. de regen.} &= 4,26 * 105,7 * 60. \\ &= 27\ 016,92 \text{ gal.} \\ &= 102,25 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

5.- VOLUMEN TOTAL REQUERIDO EN EL FUTURO:

Vol. crítico	= 4,6 m ³ .
Vol. de emergencia	= 57,61 m ³ .
<u>Vol. de regeneración</u>	= <u>102,25 m³.</u>
Vol. Total	= 164,46 m ³ .

6.- DÉFICIT DE VOLUMEN DE TANCAJE:

Volumen disponible	= 150 m ³
<u>Volumen requerido</u>	= <u>164,46 m³</u>
Déficit de volumen	= 14,46 m ³

====> SI EXISTE DÉFICIT

Luego será necesario aumentar la capacidad de almacenamiento en 14,46 m³.

10.- EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS DE INTERCAMBIO IÓNICO

a.- BASES DE CALCULO:

La evaluación de los equipos de intercambio iónico, se hará teniendo en cuenta lo siguiente:

- Análisis de Agua Cruda: En la tabla N° 5.10, se indica los valores para el sistema futuro (actualizado).
- Calidad de Agua a Obtener: Se muestra en las tabla N° 5.11 y N° 5.12, para agua industrial y potable respectivamente. Los

valores que se consideran son de acuerdo a los requerimientos del Centro Nuclear RACSO y de los análisis realizados del agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento de agua.

- Flujo de Agua a Tratar: Los valores fueron obtenidos en el punto 6 del capítulo V, estos son:

* Para agua Potable : 71 GPM.

* Para agua Industrial : 106 GPM.

- Datos de Diseño de los Equipos: Los necesarios para cada caso se indican en la tabla N° 5.13.

- Resina en cada Intercambiador: Con respecto a esto, se tiene lo siguiente:

* No se conoce el volumen exacto de cada intercambiador.

Los valores de la resina necesaria, se muestran en las N° 5.10, 5.11, 5.12 y 5.13, respectivamente.

CATIONES	ppm de CaCO₃	ANIONES	ppm de CaCO₃
Ca ²⁺	400,15	HCO ₃ ¹⁻	176
Mg ²⁺	123,75	CO ₃ ²⁻	0
Na ⁺	31,76	OH ¹⁻	0
-----	-----	SO ₄ ²⁻	302,08
-----	-----	Cl ¹⁻	63,04
-----	-----	NO ₃ ¹⁻	14,54
Total	555,66	Total	555,56

Tabla N° 5.10: Valores del sistema futuro.

	UNIDAD	MIN-MAX	ÓPTIMO
Dureza total.	ppm de CaCO ₃	0 - 6	5
Calcio, Ca ²⁺ .	ppm de CaCO ₃	1 - 2	2
Magnesio, Mg ²⁺ .	ppm de CaCO ₃	3 - 4	3
Sodio, Na ¹⁺ .	ppm de CaCO ₃	550 - 570	564
Bicarbonato, HCO ₃ ¹⁺ .	ppm de CaCO ₃	170 - 177	175
Carbonato, CO ₃ ¹⁻ .	ppm de CaCO ₃	0	0
Oxidrilo, OH ¹⁻ .	ppm de CaCO ₃	0	0
Sulfato, SO ₄ ²⁻ .	ppm de CaCO ₃	300 - 308	305
Cloruro, Cl ¹⁻ .	ppm de CaCO ₃	70 - 75	74
Nitrato, NO ₃ ¹⁻ .	ppm de CaCO ₃	10 - 16	15
S.T.D.	ppm	900 - 950	910
Fierro, Fe.	ppm	trazas	trazas
pH.	-----	7 - 8	7,5

Tabla N° 5.11: Calidad a obtener del Agua Industrial.

	UNIDAD	MIN-MAX	ÓPTIMO
Dureza total.	ppm de CaCO ₃	140 - 160	150
Calcio, Ca ²⁺ .	ppm de CaCO ₃	90 - 100	100
Magnesio, Mg ²⁺ .	ppm de CaCO ₃	50 - 60	50
Sodio, Na ¹⁺ .	ppm de CaCO ₃	550 - 570	419
Bicarbonato, HCO ₃ ¹⁻ .	ppm de CaCO ₃	170 - 177	175
Carbonato, CO ₃ ¹⁻ .	ppm de CaCO ₃	0	0
Oxidrilo, OH ¹⁻ .	ppm de CaCO ₃	0	0
Sulfato, SO ₄ ²⁻ .	ppm de CaCO ₃	300 - 308	305
Cloruro, Cl ¹⁻ .	ppm de CaCO ₃	70 - 75	74
Nitrato, NO ₃ ¹⁻ .	ppm de CaCO ₃	10 - 16	15
S.T.D.	ppm	850 - 880	860
Fierro, Fe.	ppm	trazas	trazas
pH.	-----	7 - 8	7,5

Tabla N° 5.12: Calidad a obtener del Agua Potable.

CAPITULO VI

EVALUACIÓN TÉCNICA DEL TRATAMIENTO DEL AGUA

EN LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO ACTUAL.

1.- CALCULO APROXIMADO DEL VOLUMEN DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO

De las dimensiones obtenidas a partir de planos de obras civiles, se deduce que:

a) ÁREA DE LA SUPERFICIE SUPERIOR:

$$4,80 \text{ m.} \times 2,925 \text{ m.} = 14,04 \text{ m}^2$$

Descontando los vértices:

$$(14,04) - \frac{4(0,15 \times 0,15)}{2} = 13,995 \text{ m}^2.$$

$$\rightarrow \text{AREA DE LA SUPERFICIE} = 13,995 \text{ m}^2$$

b) VOLUMEN DE CONCRETO EN LA BASE:

En las bases de cada poza (superficie inferior) todos los lados tienen forma inclinada, lo que ocupa un volumen de concreto:

$$\text{Largo: } \frac{(0,15 \times 0,15)}{2} \times (4,80 - 0,30) \times 2 = 0,10125 \text{ m}^3.$$

$$\text{Ancho: } \frac{(0,15 \times 0,15)}{2} \times (2,925 - 0,30) \times 2 = 0,05906 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow \text{VOLUMEN DE CONCRETO EN LA BASE} = 0,16 \text{ m}^3$$

c) VOLUMEN TOTAL DE CADA POZA:

$$(13,995 \text{ m}^3 \times 1,38 \text{ m}) - (0,16 \text{ m}^3) = 19,15 \text{ m}^3.$$

d) VOLUMEN TOTAL DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO:

Como son 6 posas de iguales dimensiones:

$$(19,15 \text{ m}^3) \times 6 = 114,9 \text{ m}^3.$$

$$\rightarrow \text{VOLUMEN TOTAL DE TORRES DE ENFRIAMIENTO} = 114,9 \text{ m}^3$$

e) VOLUMEN DE AGUA EN CADA TORRE DE ENFRIAMIENTO:

Como cada torre de enfriamiento consta de 2 posas, entonces el volumen de cada torre es:

$$V = 19,15 \times 2 = 38,3 \text{ m}^3.$$

2.- CALCULO APROXIMADO DEL VOLUMEN DE AGUA EN TUBERÍAS DEL CIRCUITO SECUNDARIO

a) SECTOR TORRES DE ENFRIAMIENTO (ENTRADA).

79 247 m. de tubería de 16" de diámetro

$$V = \frac{\pi \times D \times L}{4}$$

Donde: V = Volumen de tubería en m³.

D = Diámetro de tubería en m.

L = Longitud de tubería en m.

entonces:

$$V = \frac{\pi \times 0,4064^2 \times 79,247}{4} = 10,28 \text{ m}^3.$$

2,124 m. de tubería de 12" de diámetro: V = 0,155 m³.

19,509 m. de tubería de 10" de diámetro: V = 0,988 m³.

=> VOLUMEN TOTAL DE ESTE SECTOR: V₁ = 11,423 m³.

b) SECTOR TORRES DE ENFRIAMIENTO (SALIDA).

De igual forma:

78,368 m. de 16" V = 10,166 m³.

7,074 m. de 10" V = 0,358 m³.

$$\Rightarrow V_2 = 10,524 \text{ m}^3.$$

c) SECTOR BOMBAS (ENTRADA).

De igual forma:

$$7,836 \text{ m. de } 16'' \dots\dots\dots V = 1,016 \text{ m}^3.$$

$$13,518 \text{ m. de } 10'' \dots\dots\dots V = 0,685 \text{ m}^3.$$

$$\Rightarrow V_3 = 1,701 \text{ m}^3.$$

d) SECTOR BOMBAS (SALIDA).

De igual forma:

$$7,961 \text{ m. de } 16'' \dots\dots\dots V = 1,032 \text{ m}^3.$$

$$8,346 \text{ m. de } 10'' \dots\dots\dots V = 0,423 \text{ m}^3.$$

$$0,906 \text{ m. de } 8'' \dots\dots\dots V = 0,029 \text{ m}^3.$$

$$\Rightarrow V_4 = 1,485 \text{ m}^3.$$

e) SECTOR INTERCAMBIADORES DE CALOR (ENTRADA).

De igual forma:

$$7,78 \text{ m. de } 16'' \dots\dots\dots V = 1,032 \text{ m}^3.$$

$$6,23 \text{ m. de } 10'' \dots\dots\dots V = 0,315 \text{ m}^3.$$

$$0,57 \text{ m. de } 8'' \dots\dots\dots V = 0,018 \text{ m}^3.$$

$$\Rightarrow V_5 = 1,343 \text{ m}^3.$$

f) SECTOR INTERCAMBIADORES DE CALOR (SALIDA).

De igual forma:

$$24,18 \text{ m. de } 16'' \dots\dots\dots V = 3,136 \text{ m}^3.$$

$$10,54 \text{ m. de } 10'' \dots\dots\dots V = 0,534 \text{ m}^3.$$

$$0,87 \text{ m. de } 8'' \dots\dots\dots V = 0,028 \text{ m}^3.$$

$$\Rightarrow V_{\theta} = 3,698 \text{ m}^3.$$

Por lo tanto, el volumen total estará dado por la suma de volúmenes de cada uno de los sectores, resultando:

$$\text{Volumen Total de Tuberías} = 30,176 \text{ m}^3$$

3.- CALCULO DE LA RAZÓN DE CONCENTRACIÓN (RC).

Para el cálculo de la razón de concentración se utiliza el análisis del agua de reposición o industrial, que se muestra en el punto 4 del capítulo V (análisis N°2), y el análisis N°3 que ha continuación se muestra.

ANÁLISIS DE AGUA

Localidad : HUARANGAL N° Análisis : 3
Provincia : LIMA Departamento : LIMA

Fuente : POZA DE LAS TORRES Fecha : 14 / 6 / 95
Tomado por : BACH. RONALD TISZA Hora : 9:00 a.m.

Aspecto : VERDOSO pH : 9.01
Temperatura : 14 °C S.T.D. : 1953 ppm como CaCO₃

CATIONES

Calcio (Ca²⁺) : 52 ppm como CaCO₃

Magnesio (Mg²⁺) : 16 ppm como CaCO₃

Sodio (Na¹⁺) : 1434.8 ppm como CaCO₃

Total : 1502.8 ppm como CaCO₃

ANIONES

Bicarbonato (HCO₃⁻): 385 ppm como CaCO₃

Carbonato (CO₃²⁻) : 182 ppm como CaCO₃

Oxidrilo (OH¹⁻) : 0 ppm como CaCO₃

Sulfato (SO₄²⁻) : 781.25 ppm como CaCO

Cloruro (Cl¹⁻) : 117,3 ppm como CaCO₃

Nitrato (NO₃¹⁻) : 37.25 ppm como CaCO₃

Total : 1502.8 ppm como CaCO₃

Alcalinidad P : 91 ppm como CaCO₃

Alcalinidad M : 567 ppm como CaCO₃

SiO₂ : 42.75 ppm como CaCO₃

Hierro (Fe) : 0.8 ppm como CaCO₃

Turbidez : 20 NTU

Oxígeno disuelto : 84.4 ppm como CaCO₃

RELACIÓN DE CONCENTRACIÓN

Localidad : HUARANGAL N° Análisis : 2-3
Provincia : LIMA Departamento: LIMA

Fuente : AGUA DE REPOSICIÓN Y PURGA. Fecha : 14 / 6 / 95
Realizado : BACH. RONALD TISZA

S.T.D. : 1953 ppm como CaCO₃ 2,65

CATIONES

Calcio (Ca²⁺) : 12.91
Magnesio (Mg²⁺) : 1.98
Sodio (Na¹⁺) : 2.63

Total : 2.69

ANIONES

Bicarbonato (HCO₃⁻) : 2.25
Carbonato (CO₃²⁻) :
Oxidrílo (OH¹⁻) :
Sulfato (SO₄²⁻) : 2.85
Cloruro (Cl¹⁻) : 1.6
Nitrato (NO₃¹⁻) : 3,38

Total : 2,52

Alcalinidad P :
Alcalinidad M :
SiO₂ : 1,99
Fierro (Fe) :
Turbidez :
Oxígeno disuelto :

Las pruebas en el reemplazo y en el agua de recirculación muestran relaciones de concentración de 1,6 a 12,91.

La relación aproximada de concentración es 1,99 basada en magnesio y sílice, puesto que el magnesio y sílice se mantienen solubles al pH prevaleciente y a las condiciones de concentración. Tanto que el algicida Kimocide 1200, lleva compuestos clorados derivados del fenol y alcoholes de acción germicida, así como y el compuesto anticrustante y anticorrosivo Hidrox - 16, lleva compuestos fosfatos, nitratos.

$$\Rightarrow RC = 1,99$$

CALCULO DEL ÍNDICE DEL TIEMPO DE RETENCIÓN (ITR)

4.1.- INFORMACIÓN ADICIONAL OBTENIDA :

La siguiente información fueron obtenidos de la sala de control del reactor RP-10 del Centro Nuclear RACSO, el cual toma esa información en cada instante y la grava en su memoria. Entonces podemos confiar que los siguientes datos tienen una buena exactitud.

Los datos obtenidos son los siguientes:

FLUJO DE RECIRCULACIÓN

$$Q_c = 550 \text{ m}^3/\text{h}$$

FLUJO DE REPOSICIÓN

$$M = 9,5\text{m}^3/\text{h}$$

VARIACIÓN DE TEMPERATURA DISIPADA :

(según el modo de operación del reactor)

$$\text{MODO 1 : } \left[\quad T = 4,9 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \right]$$

Se opera con: 3 torres de enfriamiento.

3 intercambiadores.

3 bombas.

$$\text{MODO 2 : } \left[\quad \underline{T = 4,69^\circ\text{C}} \quad \right]$$

Se opera con: 2 torres de enfriamiento.

2 intercambiadores.

2 bombas.

$$\text{MODO 3 : } \left[\quad \underline{T = 4,69^\circ\text{C}} \quad \right]$$

Se opera con: 1 torre de enfriamiento.

1 intercambiador.

1 bomba.

El reactor opera en mas modos de operación pero esos no son relevantes para el estudio. El modo 1 es el modo en que el reactor

opera a máxima potencia, por lo tanto este se tendrá en cuenta para los siguientes cálculos:

4.2.- CALCULO DEL FLUJO DE EVAPORACIÓN (E) :

Empleando la ecuación : $E = Qc \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{560}$ en °C.

PARA EL MODO 1:

Entonces ==> $E = 0,0802 \text{ m}^3/\text{min}.$

PARA EL MODO 2 y MODO 3:

Entonces ==> $E = 0,0767 \text{ m}^3/\text{min}.$

4.3.- RECALCULANDO EL FLUJO DE RECIRCULACION (M):

Utilizando la siguiente ecuación

$$M = E \cdot \frac{(RC)}{RC-1}$$

Donde:

$$RC = 1,99$$

Entonces : Para el MODO 1 $M = 0,1612 \text{ m}^3/\text{min}.$

$$M = 9,672 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Para el MODO 2 y 3 $M = 0,1541 \text{ m}^3/\text{min}.$

$$M = 9,246 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Podemos afirmar que los datos obtenidos de la sala control del RP-10 (RACSO) son confiables, por que recalculando M con un dato experimental de RC nos da un valor cercano a los datos adquiridos.

4.4.- CAPACIDAD DE RETENCIÓN DEL SISTEMA.

- * El estanque contiene 38,3 m³.
- * El volumen total de tuberías es 30,176 m³.

=> SE ESTIMA QUE LA CAPACIDAD TOTAL DE
RETENCIÓN DEL SISTEMA: 68,476 m³.

4.5.- TIEMPO/CICLO.

$$t = \frac{V \text{ retención}}{Q_c}$$

$$\text{Entonces : } t = \frac{68,476}{9,16}$$

$$t = 7,47 \text{ min.}$$

4.6.- ÍNDICE DEL TIEMPO DE RETENCIÓN :

Si RC = 1,99 y $\Delta T = 4,9$ °C, de la tabla 38,1 del texto Manual del agua - Nalco, se muestran ciclos promedio a 69 ciclos.

$$\text{ITR} = 69 * 7,47 = 515,43 \text{ min.} = 8,59 \text{ h.}$$

4.7.- VERIFICANDO:

Como se puede conocer la tasa de la purga:

Entonces : BALANCE DE MASA (1 hora)

$$M = B + E$$

$$9,5 \text{ m}^3 = B + 4,812 \text{ m}^3$$

$$\text{Entonces : } B = 4,688 \text{ m}^3/\text{h.}$$

$$B = 0.0781 \text{ m}^3/\text{min.}$$

$$\Rightarrow \text{ITR} = 0.693 * \frac{68,476}{0,0781} = 607,34 \text{ min} = 10,12 \text{ H}$$

CAPITULO VII

ALTERNATIVAS PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA.

1.- CONSIDERACIONES GENERALES

En el presente capítulo se realiza el estudio para determinar la alternativa que optimice el sistema de tratamiento de agua potable e industrial en el centro Nuclear RACSO.

Con esta optimización se quiere corregir dos objetivos principales:

- 1.- Cubrir los requerimientos futuros de agua potable e industrial del Centro Nuclear RACSO, cuando el reactor opere las 24 horas a máxima potencia.
- 2.- Eliminar los problemas y riesgos operativos de la planta de tratamiento de agua.

Para conseguir esos objetivos se considera las alternativas N° 1 y N° 2 que se menciona en el punto 4 de este capítulo.

Con la alternativa seleccionada y conjuntamente con un grupo de acciones inmediatas y comunes a todas las alternativas posibles se mejorara el sistema de tratamiento de agua.

2.- RESUMEN DE LA PROBLEMÁTICA.

- a.- Incremento de la dureza del agua de entrada a los ablandadores.
- b.- Contaminación con Fe en las resinas de intercambio iónico.
- c.- Deterioro de la resina de intercambio iónico.
 - Rotura.
 - Agrietamiento.
 - Hinchazón.
- d.- Inoperativos los siguientes instrumentos de control:
 - * El medidor de flujo: Badger Meter.
 - * El analizador de dureza en línea:
 - D 1220 de Hach.
- e.- Corrosión de la parte interna de los ablandadores, generando contaminación de Fe a la resina.
- f.- Corrosión de la parte interna y externa de los tanques de salmuera, generando contaminación de Fe a la resina.
- g.- Contaminación en los tanques de almacenamiento del agua industrial y potable, con lodo y Fe.

- h.- Las 5 válvulas de compuerta 3/4" ϕ de bronce están totalmente defectuosas por el paso de la salmuera.
- i.- Las 2 válvulas de altitud están trabadas.
- j.- No se cumple con los requerimientos máximos permicibles de dureza del agua producida.
- k.- No se cumple con el requerimiento mínimo del flujo del agua tratada.

3.- CONSECUENCIAS.

- a.- No se cumple con los requerimientos mínimos de dureza del agua tratada.

Agua Potable:

Requerimiento Óptimo = 150 ppm como CaCO_3

Dureza Obtenida = 200 ppm como CaCO_3 .

Déficit de dureza no ablandada = 33.33 %.

Agua Industrial:

Requerimiento Óptimo = 5 ppm como CaCO_3

Dureza Obtenida = 12 ppm como CaCO_3 .

Déficit de dureza no ablandada = 140 %.

b.- No se cumple con el requerimiento mínimo del flujo del agua tratada.

Agua Potable:

Flujo Óptimo = 70,1 GPM

Flujo Obtenido = 46,7 GPM.

Déficit de flujo = 33,38 %.

Agua Industrial:

Flujo Óptimo = 105,7 GPM

Flujo Obtenido = 52,8 GPM.

Déficit de flujo = 50,05 %.

c.- No se cumple con el requerimiento mínimo de la producción del agua tratada.

Agua Potable:

Producción Óptimo = 33 648 gal

Producción Obtenido = 25 306,6 gal.

Déficit de producción = 24,79 %.

Agua Industrial:

Producción Óptimo = 50 709 gal.

Producción Obtenido = 20 254 gal.

Déficit de producción = 60,06 %.

4.- ASPECTOS TÉCNICOS PREVIOS A LAS ALTERNATIVAS

Para definir los aspectos técnicos de las dos alternativas a plantear, se realizarán los planteamientos teóricos, de ecuaciones y cálculos previos de los siguientes puntos:

- a.- Cálculo de la capacidad real de la resina de intercambio iónico en diferentes condiciones de operación.
- b.- Cálculo del volumen de la resina permitida por las dimensiones de diseño de cada ablandador.
- c.- Cálculo del volumen de la resina en cada ablandador para diferentes condiciones de operación.
- d.- Cálculo de la cantidad de reposición de resina en cada ablandador.

a.- CALCULO DE LA CAPACIDAD REAL DE LA RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO EN DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACIÓN.

Para el cálculo de la capacidad de la resina de intercambio iónico se tubo que realizar un diseño e instalación del equipo destinado a tal función.

El diseño, instalación y operación para la determinación de la capacidad real de la resina se describe a continuación:

El equipo destinado a la determinación de la capacidad real de intercambio iónico es de mucha importancia, por que nos permite la valoración real de la capacidad de intercambio iónico. Con este equipo

se calculó las capacidades de intercambio de las resinas de los ablandadores de la planta de tratamiento de agua, por lo tanto podemos afirmar que es un gran aporte en los laboratorios donde se requiere evaluar el rendimiento de cualquier planta de tratamiento de agua que utiliza resina ciclo Sodio y Ciclo Hidrógeno.

Como en el trabajo se ha empleado resina de intercambio iónico ciclo sodio, solo se informará el procedimiento para tal. Pero la técnica para ciclo Hidrógeno también ha sido desarrollado.

El diseño del equipo de evaluación de la capacidad de intercambio iónico se muestra en la figura N° 7.1.

a.1.- OBJETIVO:

Estos métodos de prueba determinan la capacidad operacional de material de intercambio catiónico cuando se usa para remover los iones de Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ del agua. Esto está dirigido para la evaluación tanto de materiales nuevos como usados. Los dos test siguientes son considerados:

Método A -----> ciclo Na

Método B^[1]-----> ciclo H

[1] El método B es para resina de ciclo Hidrógeno, también ha sido desarrollado pero la información es adicionada en el **apéndice 3**.

a.2.- RESUMEN DEL MÉTODO:

- El método A consiste en ciclos repetitivos de retrolavado, regeneración con salmuera, enjuague y agotamiento de la muestra en forma de un lecho en una columna transparente. El medio de agotamiento usado es un test de agua de intercambio iónico a preparar.
- El método B consiste en ciclos repetitivos de retrolavado, regeneración ácida, enjuague y agotamiento de la muestra en forma de un lecho en una columna transparente. El medio de agotamiento usado es un test de agua de intercambio iónico a preparar.

a.3.- APARATOS:

a.3.1.- ENSAMBLAJE DEL EQUIPO (Fig. Nº 7.1)

Consiste en lo siguiente

- En una columna transparente, soportada verticalmente, de $25,4 \pm 2,5$ mm. ($1,0 \pm 0,1$ pulg.) de diámetro interno y aproximadamente 1 500 mm. (64 pulg.) de largo. La base de la columna debe ser cerrada y provista de una salida de 6 mm. de diámetro interno. Las conexiones serán provistas tanto en el tope y en el fondo para la admisión y remoción de las soluciones. Adecuados medios de medida y regulación de flujo deberán ser dados. Calibrar la columna de tal manera que la

lectura de volumen requerido por el método pueda ser realizado.

Hacer todas las medidas a 25 ± 5 °C.

- El soporte para la muestra será diseñado de tal manera que la distancia de la muestra la salida de la columna será de por lo menos 50 mm. Un soporte de lecho utiliza cuarzo, bolas de vidrio, u otro material de 1,5 3,5 mm. de diámetro, insoluble en los reactivos usados, retenidos en una malla resistente a la corrosión. Sin embargo, otros soportes como el vidrio fritado o mallas de poliéster deberán ser usadas con discreción de las partes interesadas.

a.4.- REACTIVOS:

a.4.1.- PUREZA DE LOS REACTIVOS:

Se deberá utilizar el grado químico de puro en los reactivos para todos los test.

a.4.2.- PUREZA DEL AGUA:

Se debe utilizar agua destllada o desionizada en todo el test.

a.5.- MUESTREO:

a.5.1.- Para obtener una muestra representativa del material de intercambio iónico (resina), tanto de un embarque de un

producto nuevo en su envoltura original de manufactura o de un lecho de material usado, referirse al **apéndice 2**.

- a.5.2.-** Transferir la muestra a un bécquer de 2 lt. y añadir suficiente agua para subir el nivel de tal manera que este sobre el material de intercambio iónico y remojar por una hora^[1].

Mezclar la muestra generosamente y transferir una porción representativa a un bécquer de 400 ml. Usar esta porción de muestra en el proceso.

[1] Donde los materiales nuevos son transportados en seco siga las indicaciones de manufactura para el preacondicionamiento.

MÉTODO A - CICLO SODIO

a.6.- OBJETIVO:

Este método está diseñado para simular las condiciones de operación en el ciclo sodio para remover el Ca^{2+} , Mg^{2+} y otros iones divalentes del agua.

a.7.- MATERIALES Y REGENERANTES:

a.7.1.- SALMUERA REGENERANTE:

Para materiales Sintéticos Orgánicos de Intercambio Iónico:

- Cloruro de Sodio (100 g/L) :

Disolver 100 gramos de NaCl por cada litro de agua.

Para otros materiales de Intercambio Iónico

- Cloruro de Sodio (50 g/L) :

Disolver 50 gramos de NaCl por cada litro de agua.

a.8.- TEST DE INTERCAMBIO CATIONICO DEL AGUA "A" (10meq/L):

Disolver suficiente cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y suficiente de sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en agua para tener un solución que contenga por cada litro, 0,49 gramos de cloruro de calcio y 0,415 de sulfato de magnesio. Ajustar el pH a 7,5 añadiendo Na_2CO_3 (30 g/L) y determinar la dureza de la solución en. La dureza de la prueba de agua será $10,0 \pm 0,5$ meq/l. Usar la

dureza determinada en el cálculo de la capacidad operacional como lo indicado en a.12.1.

a.9.- PROCEDIMIENTO:

a.9.1.- Ajustar la temperatura del agua y de todas las soluciones a ser usadas en este procedimiento a 25 ± 5 °C y mantener esta temperatura a través de toda la prueba.

a.9.2.- Llenar hasta la mitad de la columna de agua y añada la suficiente cantidad de resina como para obtener un lecho de una altura de 750 ± 75 mm. por encima del tope del soporte. Para evitar que se seque el material de resina, mantenga una capa de agua de por lo menos 20 a 30 mm por encima del tope del lecho durante todo el tiempo del procedimiento.

a.9.3.- Contralave con agua durante 10 minutos usando un flujo que mantenga un 50% expandido el lecho. Si el sobrenadante es claro en este punto, continúe con a.9.4. Si el líquido es turbio (indicando la presencia de material ligero, insoluble y extraño), ajuste el retrolavado a una altura por encima del lecho igual al 75% de la altura del lecho. Continúe retrolavando al mismo flujo hasta que el efluente sea claro.

a.9.4.- Permita que el lecho se asiente y luego drene a un flujo de aproximadamente 100 mL/min, hasta que el nivel de agua sea 20 a 30 mm. por encima del tope del lecho. No decantar. Registre el volumen en mL. de material intercambiable. Repetir los 10 minutos de retrolavado hasta que dos lecturas de volumen sucesivas estén en 5 mL. El promedio de estas dos lecturas será el volumen de muestra para nuevos materiales embarcados en forma sódica.

a.9.5.- Agotar la resina de intercambio iónico con el test de agua de intercambio catiónico A, a un flujo de 0.33 mL/min/mL de resina medido en a.9.4.. Mantenga un nivel de líquido no menor a 50 mm. por encima del tope del lecho. Continúe la corrida hasta que el efluente muestre 0,2 meq/L (u otro nivel de dureza acordado). registre el volumen de agua usado.

a.9.6.- Repita los 10 minutos de retrolavado y drene como lo descrito en a.9.3 y a.9.4. Cuando este analizando un nuevo material embarcado en la forma sódica, solo un retrolavado es necesario, ya que la determinación del volumen ya ha sido efectuada. Sin embargo, para resina usada en la forma sódica, su volumen deberá determinarse como lo descrito en a.9.4. Use el volumen determinado de la muestra del material agotado para calcular la capacidad de las resinas usadas.

a.9.7.- Determine la cantidad de salmuera regenerante y el flujo requerido, de la siguiente tabla. Para usar dicha tabla, el volumen de muestra para un nuevo material debe ser determinado de acuerdo con a.9.4 y para el material usado, debe estar en concordancia con a.9.6.

TIPO DE MATERIAL DE INTERCAMBIO	SALMUERA REGENERANTE	FLUJO	TIEMPO DE CONTACTO	NIVEL DE REGENERANTE
	(g/L)	(mL de salmuera/min/ mL de resina)	(min)	(lb/plie ³) (g/L)
ORGÁNICO SINTÉTICO	100	0,032	30	6,00
				96,1
GREENSAND	50	0,027	15	1,25
				20,0
SÍLICE SINTÉTICA	50	0,080	20	3,00
				80,1
CARBONATOS	50	0,067	15	3,15
				<u>50,5</u>

Tabla N° 7.1: Cantidad de Salmuera Regenerante para el Uso del Método A.

a.9.8.- Pase el volumen especificado de salmuera regenerante a través del lecho a flujo definido hasta que solamente una capa de 20 a 30 mm. de líquido permanezca sobre el lecho. Enjuague el lecho con agua, usando el mismo flujo, hasta que un volumen equivalente al lecho sea desplazado. Incremente el flujo de

enjuague a aproximadamente 100 mL/min. Evalúe la dureza a intervalos de 3 minutos añadiendo 0,5 mL de solución buffer a 50 mL de efluente seguido de tres gotas de indicador de dureza y 0,5 mL de solución tetraacetato etilendiamina sódico (EDTA) (1 mL = 1,0 mg CaCO₃), con agitación. Si se desarrolla un color azul, el efluente contiene 0,2 meq/L o menor dureza y el enjuague es alcanzado. Si el color es rojo, el punto final no ha sido alcanzado. Continúe el enjuague hasta que el efluente alcance 0,2 meq/L de dureza o menos.

a.9.9.- Repetir la corrida descrita en a.9.5.

a.9.10.- Repetir el ciclo, comenzando con un simple retrolavado (ver a.9.6.), omitiendo la determinación del volumen del lecho. Continúe con la regeneración y enjuague (ver a.9.8.), y termine con una corrida de servicio (ver.a.9.5). Repita el ciclo hasta que tres corridas sucesivas concuerden dentro del $\pm 5\%$ de su capacidad promedio como lo calculado, en concordancia con la sección a.10.

a.10. CÁLCULOS:

a.10.1.- Calcular la capacidad de operación, en miliequivalentes por mililitro, de material intercambiable mediante:

$$\left[C_p = (A \cdot B) / S \right] \dots\dots\dots (7.1)$$

donde :

C_p : Capacidad, Kilogramo de meq/mL

A : Dureza del test de agua, meq/L

B : Volumen de agua usado en la corrida de servicio, L,

S : Volumen de la muestra en el lecho, mL, para materiales nuevos, esto se refiere al volumen promedio del material en la forma sódica como el determinado en a.11.4. Para materiales usados, el volumen promedio del material en la forma agotada como el determinado en a.11.6.

a.10.2.- Cálculo de la capacidad operacional, en kilogramos de carbonato de calcio por pie cúbico como sigue

$$\left[C_p' = c_p \cdot 21,8 \right] \dots\dots\dots(7.2)$$

donde :

C_{p'}: Capacidad, Kilogramo de CaCO₃/pie³ de material intercambiable.

a.11. REPORTE:

a.11.1.- Reportar la capacidad del material examinado como el promedio de tres sucesivas corridas de tal manera que se encuentren dentro del ±5% de su capacidad promedio.

a.12.- RESULTADOS:

Para el cálculo de los resultados se realizó el siguiente procedimiento:

- a.- Se muestreo la resina de intercambio iónico de cada ablandador de la planta de tratamiento químico, las cuales son cinco (tres para agua industrial y dos para agua potable).
- b.- La resina muestreada de cada ablandador fue separada en dos recipientes, uno para el cálculo inmediato y el otro para el cálculo después de un lavado previo con HCl al 10 %.
- c.- Por cada resultado se calculó por lo menos tres valores de la capacidad de la resina, estos valores son aceptados si se encuentran dentro del $\pm 5\%$ de su capacidad promedio.

El procedimiento del cálculo mostrado a continuación de la corrida con el equipo diseñado para la obtención de las capacidades de intercambio se realiza para el ablandador [44-I] y [45-I]; para la resina sin tratamiento químico y en ambos casos solo la corrida No 1, las demas corridas son mostradas en el apendice No 1.

Para los demás intercambiadores los cálculos son similares dándose el resumen de los valores en la tabla N^o 7.2.

ABLANDADOR [44-I].

Condición: SIN TRATAMIENTO QUÍMICO

CORRIDA N° 1:

Datos:

- Dureza del test de agua A = 495,7 ppm de CaCO_3 .
= 9,914 meq/L
- Volumen de la resina = 384,56 mL

Etapa de Regeneración:

- Flujo = $0,032 * 384,56$
= 12,3 mL/min.
- Volumen de salmuera = $12,3 \text{ mL/min} * 30 \text{ min} = 369,17 \text{ mL}$

Etapa de Enjuague:

- Flujo = $0,032 * 384,56$
= 12,3 mL/min.
- Volumen de AGUA = $12,3 \text{ mL/min} * 30 \text{ min} = 369,17 \text{ mL}$

Etapa de Agotamiento:

- Flujo = $0,33 * 384,56$ = 126,9 mL/min.

Resultado de la Corrida:

- Volumen de agua A gastado = 33,2 L

=> de las ecuaciones: N° 1 y 2.

$$Cp' = 18,65 \text{ Kilogramo de CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

Condición: CON TRATAMIENTO QUÍMICO

CORRIDA N° 1:

Datos:

- Dureza del test de agua A = 489,5 ppm de CaCO₃.
= 9,79 meq/L

- Volumen de la resina = 375,9 mL

Etapa de Regeneración:

- Flujo = 0,032 * 375,9
= 12,02 mL/min.

- Volumen de salmuera = 12,02mL/min * 30 min = 360,86 mL

Etapa de Enjuague:

- Flujo = 0,032 * 375,9
= 12,02 mL/min.

- Volumen de Agua = 12,02mL/min * 30 min = 360,86 mL

Etapas de Agotamiento:

- Flujo = $0,33 * 375,9$ = 124,7 mL/min

Resultado de la Corrida:

- Volumen de agua A gastado = 36,45 L

=> de las ecuaciones: N° 1 y 2.

$C_p' = 20,69$ Kilogramo de $CaCO_3/pe^3$.

ABLANDADOR [45-I].

Condición: SIN TRATAMIENTO QUÍMICO

CORRIDA N° 1:

Datos:

- Dureza del test de agua A = 488,7 ppm de $CaCO_3$.

= 9,774 meq/L

- Volumen de la resina = 342,7 mL

Etapas de Regeneración:

- Flujo = $0,032 * 342,7$

= 10,96 mL/min

- Volumen de salmuera = $10,96 \text{ mL/min} * 30 \text{ min} = 328,9 \text{ mL}$

Etapa de Enjuague:

- Flujo $= 0,032 * 342,7$
 $= 10,96 \text{ mL/min.}$
- Volumen de Agua $= 10,96\text{mL/min} * 30 \text{ min} = 328,9 \text{ mL}$

Etapa de Agotamiento:

- Flujo $= 0,33 * 342,7$ $= 113,091 \text{ mL/min.}$

Resultado de la Corrida:

- Volumen de agua A gastado $= 31,12 \text{ L}$

=> de las ecuaciones: N° 1 y 2.

$$Cp' = 19,34 \text{ Kilogramo de CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

En la siguiente tabla N° 7.2 se presenta un resumen de todas las condiciones de evaluación, que se realizaron para determinar la capacidad real de la resina de intercambio iónico de cada ablandador de la planta de agua.

RESINA	C DE OPERA.	44-I	44-II	44-III	45-I	45-II
	V_R (ML)	384,5	362,7	348,5	342,7	394,7
	$\frac{DUREZA A}{(MEQ/L)}$	9,914	9,75	10,234	9,774	10,28
	F. REGEN. (ML/MIN)	12,3	11,6	11,14	10,96	10,63
	V. REGEN. (ML)	369,1	348,1	334,46	328,9	378,9
	F. ENGUA. (ML/MIN)	12,3	11,6	11,14	10,96	10,63
	V. ENGUA. (ML)	369,1	348,1	334,46	328,9	378,9
SIN TRATAMIENTO QUÍMICO	F. AGO. (ML/MIN)	126,9	114,9	114,97	113,09	130,2
	$V_{AGO} = B$ (L)	33,2	31,56	29,3	31,12	33,5
	CP' (KGRA/PIE ³)	18,7	18,61	18,73	19,46	19,28
	V_R (ML)	384,5	362,7	348,5	342,7	394,7
	$\frac{DUREZA A}{(MEQ/L)}$	9,79	9,9	10,058	10,314	9,638
	F. REGEN. (ML/MIN)	12,3	11,6	11,14	10,96	10,63
	V. REGEN. (ML)	369,1	348,1	334,46	328,9	378,9
	F. ENGUA. (ML/MIN)	12,3	11,6	11,14	10,96	10,63
CON TRATAMIENTO QUÍMICO	V. ENGUA. (ML)	12,3	11,6	11,14	10,96	10,63
	F. AGO. (ML/MIN)	126,9	114,9	114,97	113,09	130,2
	$V_{AGO} = B$ (L)	36,45	40,2	33,86	33,04	40,23
	CP' (KGRA/PIE ³)	20,61	21,46	21,11	22,2	22,6

Tabla N° 7.2

En la tabla N° 7.3 se muestra el resumen de las capacidades de la resina de cada ablandador, en diferentes condiciones de evaluación.

	44-I	44-II	44-III	45-I	45-II
Sin tratamiento químico	18,7	18,61	18,73	19,46	19,28
Con tratamiento químico	20,61	21,47	21,11	22,2	22,6

Tabla N° 7.3: Capacidad de las Resinas en los Diferentes Ablandadores.

**b.- CALCULO DEL VOLUMEN DE LA RESINA PERMITIDA POR LAS
DIMENSIONES DE DISEÑO DE CADA ABLANDADOR.**

Datos:

A : Área del equipo ablandador diseñado (pulg²).

Ht : Altura del equipo ablandador (pulg²).

Resultados:

Hr : Altura del lecho de resina expandida (pulg).

Vtr: Volumen del lecho de resina expandida (pie³).

Formulas:

$$\boxed{Hr = Ht/2} \dots\dots\dots 7.3$$

$$\boxed{Vtr = Hr \cdot A} \dots\dots\dots 7.4$$

c.- PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DEL VOLUMEN DE LA RESINA EN CADA ABLANDADOR EN DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACIÓN.

Datos:

Df : Dureza del agua producida (salida) (ppm como CaCO₃).

Di : Dureza del agua cruda (entrada) (ppm como CaCO₃).

Cr : Capacidad de la resina (Kgrano como CaCO₃/pie³).

Q : Flujo de agua en el ablandador (GPM).

θ : Tiempo de intercambio total (hr.).

β : Factor de expansión y perdidas (0,15 - 0,25).

Resultados:

C : Concentración de los cationes a intercambiar (Kilogramo como CaCO₃/galón).

α : Número de cationes a intercambiar (Kgrano como CaCO₃).

Vr : Volumen de resina (pie³).

Vtr: Volumen total de resina corregida (pie³).

Formulas:

$$\left[C = (Df - Di)/(17,1*1000) \right] \dots\dots\dots 7.5$$

$$\left[\alpha = Q*(\theta*60)*c \right] \dots\dots\dots 7.6$$

$$\left[Vr = \alpha/Cr \right] \dots\dots\dots 7.7$$

$$\left[Vr = Vr*[1 + B] \right] \dots\dots\dots 7.8$$

d.- PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE LA CANTIDAD DE REPOSICIÓN DE RESINA EN CADA ABLANDADOR.

Datos:

α : Número de cationes a intercambiar (Kgrano como CaCO_3).

Vd : Volumen disponible para la resina (pie^3).

Resultados:

X : Volumen de resina nueva (pie^3).

Y : Volumen de resina actual (pie^3).

Formulas:

$$\left[\alpha = 30*X + Cr * Y \right] \dots\dots\dots 7.9$$

$$\left[\underline{Vd = X+Y} \right] \dots\dots\dots 7.10$$

e.- EJEMPLO DE CALCULO QUE DEFINE LAS ALTERNATIVAS

A continuación se muestra el cálculo donde se demuestra que la planta actual de tratamiento de agua del centro Nuclear RACSO, no puede cumplir con los requerimientos mínimos establecidos cuando el reactor opere a máxima potencia y las 24 horas del día. Es decir que el diseño inicial de los equipos es insuficiente en la actualidad.

De igual manera se mostrará el cálculo donde se demuestra que para las condiciones iniciales de diseño la planta cumplía con los requerimientos, es decir la planta estuvo diseñado para operar a máxima potencia y las 24 horas del día. La razón por la que el diseño de los equipo ablandadores se convierte en insuficiente, es el incremento en 170 ppm de CaCO₃ de dureza del agua cruda a tratar. Al parecer no estaba considerado el incremento inminente de la dureza del agua de pozo en el diseño. Los resultados de estos cálculos se resumen en la tabla N° 7.4.

El ejemplo de cálculo es para el ablandador [44-I] del agua industrial y para el ablandador [45-I] del agua potable. Para el este cálculo, se establece el siguiente orden:

- 1.- Cálculo del volumen de resina permitido por las dimensiones del ablandador.

2.- CALCULO DEL VOLUMEN DE RESINA EN CONDICIONES DE DISEÑO:

Datos:

$$C_r = 30 \text{ Kgm como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

$$D_f = 0 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$D_i = 354 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Q = 110 \text{ GPM.}$$

$$\theta = 8 \text{ Hr.}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

$$\text{De la ecuación (5): } c = 0,02070175 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón.}$$

$$\text{De la ecuación (6): } \alpha = 1\,093,052 \text{ Kgrano como CaCO}_3.$$

$$\text{De la ecuación (7): } V_r = 36,44 \text{ pie}^3.$$

$$\text{De la ecuación (8): } V_{tr} = 40,81 \text{ pie}^3 \dots\dots\dots(\beta)$$

=> como (β) es menor que (α) .

Se concluye: La planta fue diseñada para que, cuando el reactor opere a máxima potencia el equipo soporte, hasta un mínimo de disminución de la capacidad de resina a 27,49 Kilogramo como $\text{CaCO}_3/\text{pie}^3$.

3.- CALCULO DEL VOLUMEN DE RESINA EN CONDICIONES ACTUALES:

Datos:

$$C_r = 18,70 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

$$D_f = 12 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$D_i = 524 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Q = 52,8 \text{ GPM.}$$

$$\theta = 8 \text{ Hr.}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

$$\text{De la ecuación (5): } c = 0,02994152 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón.}$$

$$\text{De la ecuación (6): } \alpha = 758,83 \text{ Kgrano como CaCO}_3.$$

$$\text{De la ecuación (7): } V_r = 40,57 \text{ pie}^3.$$

$$\text{De la ecuación (8): } V_{tr} = 48,70 \text{ pie}^3 \dots\dots\dots(\beta)$$

$$\text{De la ecuación (8): con } \beta = 0,15$$

$$V_{tr} = 46,65 \text{ pie}^3 \dots\dots\dots(\beta')$$

=> como (β) es cercano a (α) , y
como (β') es menor a (α)

Se concluye:- La planta actualmente está operando a su máxima capacidad en el estado que se encuentra. Por lo tanto no soportaría los requerimientos cuando el reactor opere a máxima potencia.

- Con lo obtenido se puede afirmar que los análisis químicos, datos, y cálculos realizados son correctos, por que demuestran una lógica de la situación actual.

4.- CALCULO DEL VOLUMEN DE RESINA A CONDICIONES FUTURAS:

- Resina sin tratamiento químico:

Datos:

$$Cr = 18,70 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

$$Df = 5 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Di = 524 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Q = 105,7 \text{ GPM.}$$

$$\theta = 8 \text{ Hr.}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

De la ecuación (5): $c = 0,03035087 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón.}$

De la ecuación (6): $\alpha = 1 \text{ 539,882 Kgrano como CaCO}_3.$

De la ecuación (7): $Vr = 82,34 \text{ pie}^3.$

De la ecuación (8): $Vtr = 98,82 \text{ pie}^3 \dots\dots\dots(\beta)$

=> como (β) es mucho mayor que (α) .

Se Concluye: La planta actualmente no puede soportar los requerimientos cuando el reactor opere a máxima potencia y las 24 horas del día.

- **Resina con tratamiento químico:**

Datos:

$$Cr = 20,61 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

$$Df = 5 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Di = 524 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Q = 105,7 \text{ GPM.}$$

$$\theta = 8 \text{ Hr.}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

De la ecuación (5): $c = 0,03035087 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón.}$

De la ecuación (6): $\alpha = 1 \text{ 539,882 Kgrano como CaCO}_3.$

De la ecuación (7): $Vr = 74,72 \text{ pie}^3.$

De la ecuación (8): $Vtr = 89,66 \text{ pie}^3 \dots\dots\dots(\beta)$

=> como (β) es mucho mayor que (α) .

Se Concluye: La planta actualmente no puede soportar los requerimientos futuros, aunque se realice el tratamiento químico a la resina con HCl al 10% (lavado químico).

5.- CALCULO DE LA CANTIDAD DE REPOSICIÓN DE RESINA:

- Resina con tratamiento químico:

Datos:

$$Cr = 20,61 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

$$Vd = 47,71 \text{ pie}^3.$$

$$\alpha = 1 \text{ 539,882 Kgrano como CaCO}_3.$$

Resultados:

De las ecuaciones (9) y (10):

$$X = 76,73$$

$$Y = -36,96$$

Conclusión: Estos valores son ilógicos, lo que confirma que la planta actual no puede operar a los requerimientos futuros.

- Resina nueva:

Datos:

$$Cr = 30 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

$$Df = 5 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Di = 524 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Q = 105,7 \text{ GPM.}$$

$$\theta = 8 \text{ Hr.}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

De la ecuación (5): $c = 0,03035087$ Kgrano como CaCO_3 /galón.

De la ecuación (6): $\alpha = 1\,539,882$ Kgrano como CaCO_3 .

De la ecuación (7): $V_r = 51,32$ pie³.

De la ecuación (8): $V_{tr} = 61,60$ pie³(β)

=> como (β) es mayor que (α).

Conclusión: No existe el modo de que la planta aún reponiendo totalmente la resina opere cumpliendo con los requerimientos futuros.

PARA AGUA POTABLE

ABLANDADOR [45-I]

1.- CALCULO DEL VOLUMEN DE RESINA PERMITIDA POR LAS DIMENSIONES DEL ABLANDADOR:

- Las dimensiones son: Diámetro = 48".

Altura = 72".

- De las dimensiones del ablandador se puede calcular el espacio permitido para el lecho de resina:

de la ecuación (3) $H_r = 36''$.

de la ecuación (4) $V_{tr} = 37,69 \text{ pie}^3 \dots\dots(\alpha)$

2.- CALCULO DEL VOLUMEN DE RESINA EN CONDICIONES DE DISEÑO:

Datos:

$C_r = 30 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3$.

$D_f = 150 \text{ ppm como CaCO}_3$.

$D_i = 354 \text{ ppm como CaCO}_3$.

$Q = 121 \text{ GPM}$.

$\theta = 8 \text{ Hr}$.

$\beta = 0,2$

Resultados:

De la ecuación (5): $c = 0,01192982 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón}$.

De la ecuación (6): $\alpha = 692,88 \text{ Kgrano como CaCO}_3$.

De la ecuación (7): $V_r = 23,10 \text{ pie}^3$.

De la ecuación (8): $V_{tr} = 27,72 \text{ pie}^3 \dots\dots\dots(\beta)$

=> como (β) es menor que (α) .

Se concluye: La planta fue diseñada para que, cuando el reactor opere a máxima potencia, el ablandador deberá soportar hasta un mínimo de disminución de la capacidad de resina a $22,06 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3$.

3.- CALCULO DEL VOLUMEN DE RESINA EN CONDICIONES ACTUALES:

Datos:

$$Cr = 19,46 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

$$Df = 192,38 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Di = 524 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Q = 66,42 \text{ GPM.}$$

$$\theta = 8 \text{ Hr.}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

De la ecuación (5): $c = 0,01939298 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón.}$

De la ecuación (6): $\alpha = 618,28 \text{ Kgrano como CaCO}_3.$

De la ecuación (7): $Vr = 31,77 \text{ pie}^3.$

De la ecuación (8): $Vtr = 38,13 \text{ pie}^3 \dots\dots\dots(\beta)$

De la ecuación (8): con $\beta = 0,15$

$$Vtr = 36,54 \text{ pie}^3 \dots\dots\dots(\beta')$$

=> como (β) es cercano a (α) , y
como (β') es menor a (α)

Se concluye:- La planta actualmente está operando en su máxima capacidad en el estado que se encuentra. Por lo tanto no soportaría los requerimientos cuando el reactor opere a máxima potencia.

- Con lo obtenido se puede afirmar que los análisis químicos, datos, y cálculos realizados son correctos. Por que demuestran una lógica de la situación actual.

4.- CALCULO DEL VOLUMEN DE RESINA A CONDICIONES FUTURAS:

- **Resina sin tratamiento químico:**

Datos:

$$Cr = 19,46 \text{ Kgrano como } CaCO_3/\text{pie}^3.$$

$$Df = 150 \text{ ppm como } CaCO_3.$$

$$Di = 524 \text{ ppm como } CaCO_3.$$

$$Q = 99,63 \text{ GPM.}$$

$$\theta = 8 \text{ Hr.}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

De la ecuación (5): $c = 0,02187134 \text{ Kgrano como } CaCO_3/\text{galón.}$

De la ecuación (6): $\alpha = 1 \text{ 045,94 Kgrano como } CaCO_3.$

De la ecuación (7): $Vr = 53,75 \text{ pie}^3.$

De la ecuación (8): $Vtr = 64,50 \text{ pie}^3 \dots\dots\dots(\beta)$

=> como (β) es mayor que (α) .

Se Concluye: Que la planta actualmente no puede soportar los requerimientos cuando el reactor opere a máxima potencia y las 24 horas del día.

- Resina con tratamiento químico:

Datos:

$$Cr = 22,2 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

$$Df = 150 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Di = 524 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Q = 99,63 \text{ GPM.}$$

$$\theta = 8 \text{ Hr.}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

De la ecuación (5): $c = 0,02187134 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón.}$

De la ecuación (6): $\alpha = 1 \text{ 045,94 Kgrano como CaCO}_3.$

De la ecuación (7): $Vr = 47,11 \text{ pie}^3.$

De la ecuación (8): $Vtr = 56,53 \text{ pie}^3 \dots\dots\dots(\beta)$

=> como (β) es todavía mayor que (α) .

Se Concluye: Que la planta actualmente no puede soportar los requerimientos futuros, aunque se realice el tratamiento químico a la resina con HCl al 10% (lavado químico).

5.- CALCULO DE LA CANTIDAD DE REPOSICIÓN DE RESINA:

- Resina con tratamiento químico:

Datos:

$$Cr = 22,2 \text{ Kgrano como } \text{CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

$$Vd = 37,69 \text{ pie}^3.$$

$$\alpha = 1\,045,94 \text{ Kgrano como } \text{CaCO}_3.$$

Resultados:

De las ecuaciones (9) y (10):

$$X = 44,70 \text{ pie}^3.$$

$$Y = -13,29 \text{ pie}^3$$

Conclusión: No se puede conseguir los requerimientos futuros, realizando una reposición de resina.

- Resina nueva:

Datos:

$$Cr = 30 \text{ Kgrano como } \text{CaCO}_3/\text{pie}^3$$

$$Df = 150 \text{ ppm como } \text{CaCO}_3.$$

$$Di = 524 \text{ ppm como } \text{CaCO}_3.$$

$$Q = 99,63 \text{ GPM.}$$

$$\theta = 8 \text{ Hr.}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

De la ecuación (5): $c = 0,02187134$ Kgrano como $\text{CaCO}_3/\text{galón}$.

De la ecuación (6): $\alpha = 1\,045,94$ Kgrano como CaCO_3 .

De la ecuación (7): $V_r = 34,86 \text{ pie}^3$.

De la ecuación (8): **$V_{tr} = 41,84 \text{ pie}^3$** (β)

=> como (β) es mayor que (α).

Conclusión: No existe la alternativa de que la planta opere cumpliendo con los requerimientos futuros, aun reponiendo totalmente la resina.

En las tablas N° 7.3 y N° 7.4 se muestra el resumen de los cálculos de la cantidad de reposición de la resina para todos los ablandadores, en las diferentes condiciones anteriormente señaladas.

		ACTUALIDAD	FUTURO		
		Resina sin lavado químico	Resina sin lavado químico	Resina con lavado químico	Resi. nueva
44-I	Vtr (pie ³)	48,70	98,82	89,66	61,60
	Rep (pie ³)	-----	nueva 70,48 usada -30,7	nueva 76,72 usada -36,9	-----
44-II	Vtr (pie ³)	48,93	99,29	86,07	61,60
	Rep (pie ³)	-----	nueva 70,23 usada -30,4	nueva 80,45 usada -40,7	-----
44-III	Vtr (pie ³)	48,61	98,66	87,53	61,60
	Rep (pie ³)	-----	nueva 70,56 usada -30,8	nueva 78,81 usada -39,0	-----

Tabla N° 7.4: Para Agua Industrial.

		ACTUALIDAD	FUTURO		
		Resina sin lavado químico	Resina sin lavado químico	Resina con lavado químico	Resi. nueva
44-I	Vtr (pie ³)	38,13	64,50	56,53	41,83
	Rep (pie ³)	-----	nueva 41,25 usada -9,83	nueva 44,70 usada -13,2	-----
44-II	Vtr (pie ³)	38,48	65,10	55,54	41,83
	Rep (pie ³)	-----	nueva 41,08 usada -9,67	nueva 45,42 usada -14,0	-----

Tabla N° 7.5: Para Agua Potable.

Con estos cálculos realizados se puede plantear dos alternativas de mejora para llegar a cumplir con los requerimientos futuros (reactor operando a máxima potencia las 24 horas del día).

5.- PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS.

Luego de los cálculos realizados en el punto 3 de este capítulo, se obtuvieron resultados importantes para poder establecer las alternativas de mejora de la planta de tratamiento de agua.

Estos resultados demuestran que el sistema de agua industrial y el sistema de agua potable en la actualidad definitivamente no pueden cumplir los requerimientos óptimos buscados, aún cuando se realice un cambio total de resina usada por resina de intercambio nueva. Cabe señalar que el sistema de agua potable es el menos afectado.

La razón fundamental de que los equipos ablandadores actualmente no soporten dichos requerimientos, es por que no se consideró el incremento de la dureza en el diseño, lo cual ocurre generalmente en los pozos de obtención de agua.

Las bases para los planteamientos son los siguientes:

a.- ALTERNATIVA N° 1:

El planteamiento N° 1, propone que para el cumplimiento de los requerimientos futuros, se establezca fundamentalmente una modificación en el tiempo de intercambio por cada ablandador.

ACCIONES:

- 1.- Disminuir el tiempo de intercambio (θ) a la mitad, en el sistema de tratamiento de agua industrial como también en el sistema de agua potable, estableciéndose la operación de 2 ablandadores por cada ciclo de operación.
- 2.- Lavado químico o reposición parcial de la resina de intercambio iónico si fuera necesario en los ablandadores del sistema de tratamiento de agua potable, y cancelar la línea de mezcla del agua cruda con el agua blanda.
- 3.- La reposición parcial o total de la resina de intercambio iónico en el sistema de tratamiento de agua industrial.

SUSTENTO:

- 1.- El diseño realizado para la instalación de la planta de tratamiento de agua, no consideró el incremento de la dureza del agua de pozo que generalmente ocurre. Es por eso, que en la actualidad el diseño de los ablandadores no tiene la capacidad de soportar en su interior un volumen de resina, que nos permita garantizar el cumplimiento de los requerimientos futuros.

Por lo tanto esta alternativa sugiere operar a la mitad del tiempo diseñado (4 horas) por cada ablandador y operar dos ablandadores por día de operación. Así se lograría obtener un mayor intercambio de cationes con menor volumen de resina por ablandador.

- 2.- En el sistema de tratamiento de agua potable, al cancelar la línea de mezcla del agua cruda con agua blanda, se establecería no solamente un mejor control de la calidad del agua producida, sino que mejoraríamos la operatividad del sistema de agua potable.

La mejora de la operatividad se manifiesta en que no se tendría la necesidad de manipular constantemente un flujo de agua cruda, tal que al mezclarse con agua tratada, esta cumpla con la dureza máxima permitida (150 ppm como CaCO_3) y el flujo de producción requerido (99,63 GPM). Por lo tanto las variables serían únicamente, la dureza del agua cruda, el flujo de salida y la dureza del agua tratada. De las cuales, las dos últimas son fáciles de manejar y controlar en el tratamiento.

- 3.- Para mejorar la capacidad de intercambio iónico por ablandador, se tiene que realizar una reposición total o parcial de la resina.

Los cálculos técnicos y económicos permitiría determinar cual es el más factible, entre la reposición total o parcial.

OBSERVACIONES:

- 1.- En cualquiera de los casos de reposición total o parcial de la resina de intercambio iónico, se tendrá que realizar el mantenimiento anticorrosivo de la parte interna de los intercambiadores.

Antes de realizar una reposición parcial en los ablandadores, se tendrá que realizar un lavado químico con HCl^[1] al 10% en la resina usada.

- 2.- Estas acciones se tendrá que realizar para eliminar la contaminación con Hierro existente en la resina, y evitar futuras contaminaciones de Hierro producido por la corrosión existente en los tanques.

b.- ALTERNATIVA N° 2:

La alternativa N° 2 plantea para el cumplimiento de los requerimientos futuros, la adquisición de un equipo ablandador con dimensiones del diseño futuro para el sistema de tratamiento de agua industrial y otro para el sistema de tratamiento de agua potable.

ACCIONES:

- 1.- Adquirir un equipo ablandador para cada sistema de tratamiento de agua, con dimensiones que permita una operatividad mas flexible para el cumplimiento de los requerimientos futuros.
- 2.- El lavado químico o la reposición parcial de la resina de intercambio iónico si fuera necesario, en los ablandadores existentes del sistema de tratamiento de agua potable y cancelar la línea de mezcla del agua cruda con el agua blanda.

[1] Las condiciones para el lavado de la resina de intercambio iónico con HCl al 10% se mencionan en el **apéndice 4**.

- 3.- La reposición parcial o total si fuera necesario, de la resina de intercambio iónico en los ablandadores existentes del sistema de tratamiento de agua industrial.

SUSTENTO:

- 1.- Como se ha demostrado que el diseño de los ablandadores no tiene capacidad en su interior para un volumen de resina, que garantice cumplir con los requerimientos futuros.

La alternativa N° 2 plantea para el sistema de agua industrial, reducir el flujo de producción a la mitad (52,85 GPM) para cada ablandador, entonces para llegar al flujo requerido se operará dos ablandadores en paralelo. Por lo tanto se necesita adquirir un equipo ablandador para poder operar con los tres ablandadores existentes, en turnos de dos ablandadores en paralelo por día de operación.

La alternativa N° 2 también plantea para el sistema de agua potable, reducir el flujo de producción a la mitad (49,815 GPM) para cada ablandador existente, entonces para llegar al flujo requerido se operará los dos ablandadores en paralelo. Pero para poder satisfacer los requerimientos diarios se necesita adquirir un equipo ablandador que opere solo y en un ciclo completo de 8 horas cuando los ablandadores existentes se encuentren agotados. Por lo tanto el modo de operación será:

- Los ablandadores existentes operaran en paralelo por día de operación, y
- El nuevo equipo operara un ciclo por día completo, cuando los dos anteriores equipos se encuentren agotados.

2.- Es necesario aumentar la capacidad de intercambio iónico por ablandador, para mejorar el intercambio iónico y la flexibilidad operativa. Esto se puede realizar con una reposición parcial, total o simplemente con un lavado con HCl al 10%, esto se determinará con la evaluación técnica de esta alternativa.

OBSERVACIONES:

- 1.-** Para la realización de esta alternativa se tendrá inconveniencias, como las siguientes:
- Determinar si la distribución de la planta permite la instalación de otros equipos ablandadores.
 - Modificar las líneas de tuberías e instrumentos de control.

Estos posibles problemas se estudiarán en los aspectos técnicos de cada alternativa, la cual nos permitirá seleccionar la mejor alternativa.

6.- ASPECTOS TÉCNICOS DE LA ALTERNATIVA N°1.

Desarrollaremos los aspectos técnicos de la alternativa N° 1 por separado, es decir primero los aspectos técnicos para la mejora del sistema de tratamiento de agua industrial y luego para la mejora del sistema de tratamiento de agua potable.

a.- PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA INDUSTRIAL:

Fundamentalmente esta alternativa plantea lo siguiente:

- 1.- Reducción del tiempo de intercambio total (θ) por cada ablandador, de 8 horas a 4 horas.
- 2.- Operar 8 horas al día, por lo tanto operar dos ablandadores en serie por día operado.

Los siguientes cálculos permitirá determinar las cantidades óptimas de reposición, para mejorar los aspectos fundamentales siguientes:

- a).- La capacidad de intercambio iónico por ablandador.
- b).- Mejorar fundamentalmente la flexibilidad operativa del futuro, es decir que no afecte un incremento de dureza en el agua cruda del 40% por lo menos (733,6 ppm CaCO_3), para el cumplimiento de los requerimientos.
- c).- Disminuir los costos de reposición de resina.

CALCULO DE LA REPOSICIÓN PARCIAL DEL VOLUMEN DE RESINA NECESARIA PARA CUMPLIR LOS REQUERIMIENTOS FUTUROS.

ABLANDADOR INDUSTRIAL [44-I]

Para Resina Usada Con Tratamiento Químico

Datos:

$$Cr = 20,61 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

$$Df = 5 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Di = 524 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Q = 105,7 \text{ GPM.}$$

$$\theta = 4 \text{ Hr.}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

$$\text{De la ecuación (7.5): } c = 0,03350877 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón.}$$

$$\text{De la ecuación (7.6): } \alpha = 769,94 \text{ Kgrano como CaCO}_3.$$

$$\text{De la ecuación (7.7): } Vr = 37,35 \text{ pie}^3.$$

$$\text{De la ecuación (7.7): } Vr = 44,82 \text{ pie}^3$$

Para Resina Nueva

Dato:

$$Cr = 30 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

Resultados:

De la ecuación (7.7): $V_r = 25,66 \text{ pie}^3$.

De la ecuación (7.8): $V_{tr} = 30,79 \text{ pie}^3$

De los cálculos anteriores se establecen los parámetros fijos:

- Volumen permitido por el diseño del equipo: $V_{tr} = 47,71 \text{ pie}^3$.

- Incremento de la dureza (40%): $D_f = 733,6 \text{ ppm como CaCO}_3$.

- Volumen disponible : $V_d = 47,71/1,2 = 39,75 \text{ pie}^3$.

=> Con los parámetros fijos y los datos anteriores:

De la ecuación (7.5): $c = 0,04260818 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón}$.

De la ecuación (7.6): $\alpha = 1\,080,88 \text{ Kgrano como CaCO}_3$.

De las ecuaciones (7.9) y (7.10):

$$X = 27,34 \text{ pie}^3.$$

$$Y = 11,91 \text{ pie}^3.$$

Conclusión: Se Requiere 28 Pie^3 de Resina Nueva.

Se requiere 12 pie^3 de Resina Usada.

ABLANDADOR INDUSTRIAL [44-II]

Para Resina Usada Con Tratamiento Químico

Datos:

$$Cr = 21,47 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

$$Df = 5 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Di = 524 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Q = 105,7 \text{ GPM.}$$

$$\theta = 4 \text{ Hr.}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

$$\text{De la ecuación (7.5): } c = 0,03350877 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón.}$$

$$\text{De la ecuación (7.6): } \alpha = 769,94 \text{ Kgrano como CaCO}_3.$$

$$\text{De la ecuación (7.7): } Vr = 35,86 \text{ pie}^3.$$

$$\text{De la ecuación (7.8): } Vtr = 43,03 \text{ pie}^3$$

Para Resina Nueva

Dato:

$$Cr = 30 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

Resultados:

$$\text{De la ecuación (7.7): } Vr = 25,66 \text{ pie}^3$$

$$\text{De la ecuación (7.8): } Vtr = 30,79 \text{ pie}^3$$

De los cálculos anteriores establecemos los parámetros fijos:

- Volumen permitido por el diseño del equipo: $V_{tr} = 47,71 \text{ pie}^3$.
- Incremento de la dureza (40%): $D_f = 733,6 \text{ ppm como CaCO}_3$.
- Volumen disponible : $V_d = 47,71/1,2 = 39,75 \text{ pie}^3$.

=> Con los parámetros fijos y los datos anteriores:

De la ecuación (7.5): $c = 0,04260818 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón}$.

De la ecuación (7.6): $\alpha = 1\,080,88 \text{ Kgrano como CaCO}_3$.

De las ecuaciones (7.9) y (7.10):

$$X = 26,64 \text{ pie}^3.$$

$$Y = 13,1 \text{ pie}^3.$$

Conclusión: Se requiere 27 pie^3 de Resina nueva.

Se requiere 13 pie^3 de Resina usada.

ABLANDADOR INDUSTRIAL [44-III]

Para Resina Usada Con Tratamiento Químico

Datos:

$$Cr = 21,11 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

$$Df = 5 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Di = 524 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Q = 105,7 \text{ GPM.}$$

$$\theta = 4 \text{ Hr.}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

$$\text{De la ecuación (7.5): } c = 0,03350877 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón.}$$

$$\text{De la ecuación (7.6): } \alpha = 769,94 \text{ Kgrano como CaCO}_3.$$

$$\text{De la ecuación (7.7): } Vr = 36,37 \text{ pie}^3.$$

$$\text{De la ecuación (7.8): } Vtr = 43,64 \text{ pie}^3$$

Para Resina Nueva

Dato:

$$Cr = 30 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

Resultados:

$$\text{De la ecuación (7.7): } Vr = 25,66 \text{ pie}^3.$$

$$\text{De la ecuación (7.8): } Vtr = 30,79 \text{ pie}^3$$

De los cálculos anteriores establecemos los parámetros fijos:

- Volumen permitido por el diseño del equipo: $V_{tr} = 47,71 \text{ pie}^3$.
- Incremento de la dureza (40%): $Df = 733,6 \text{ ppm como CaCO}_3$.
- Volumen disponible : $V_d = 47,71/1,2 = 39,75 \text{ pie}^3$.

=> Con los parámetros fijos y los datos anteriores:

De la ecuación (7.5): $c = 0,04260818 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón}$.

De la ecuación (7.6): $\alpha = 1\,080,88 \text{ Kgrano como CaCO}_3$.

De las ecuaciones (7.9) y (7.10):

$$X = 27,18 \text{ pie}^3.$$

$$Y = 12,58 \text{ pie}^3.$$

Conclusión: Se Requiere 28 Pie^3 de Resina Nueva.

Se requiere 12 pie^3 de Resina Usada.

REQUERIMIENTO DE SALMUERA:

Flujo promedio de retr lavado = 6 GPM/ pie^2

$$= 95,42 \text{ GPM}$$

Concentración de regenerante = 12% de sal

Flujo promedio de regenerante = 0,4 GPM/ pie^3

$$= 15,9 \text{ GPM}$$

Volumen de salmuera = 396,27 gal

Flujo promedio de enjuague = 1,5 GPM/ pie^3

POR LO TANTO:

Tiempo de retrolavado = 15 min

Requerimiento de agua de retrolavado

= 1 431,31 gal

Tiempo de asentamiento = 5 min

Tiempo de regeneración = 25 min

Requerimiento de sal = 180 kg

Tiempo de enjuague = 30 min

Requerimiento de agua de enjuague

= 1 789,2 gal

Como se regeneran dos unidades de ablandamiento por día, entonces, el total de sal utilizada será 360 kg/día.

b.- PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE:

Los fundamentos son los mismos que para el sistema de agua industrial, entonces los cálculos son los siguientes:

CALCULO DE LA REPOSICIÓN PARCIAL DEL VOLUMEN DE RESINA NECESARIA PARA CUMPLIR LOS REQUERIMIENTOS FUTUROS.

ABLANDADOR [45-I]

Para Resina Usada Con Tratamiento Químico

Datos:

$$Cr = 22,2 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

$$Df = 150 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Di = 524 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Q = 99,63 \text{ GPM.}$$

$$\theta = 4 \text{ Hr.}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

$$\text{De la ecuación (7.5): } c = 0,02187134 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón.}$$

$$\text{De la ecuación (7.6): } \alpha = 522,97 \text{ Kgrano como CaCO}_3.$$

$$\text{De la ecuación (7.7): } Vr = 23,56 \text{ pie}^3.$$

$$\text{De la ecuación (7.8): } Vtr = 28,26 \text{ pie}^3$$

Para Resina Nueva

Dato:

$$Cr = 30 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

Resultados:

De la ecuación (7.7): $V_r = 17,43 \text{ pie}^3$.

De la ecuación (7.8): $V_{tr} = 20,91 \text{ pie}^3$

De los cálculos anteriores establecemos los parámetros fijos:

- Volumen permitido por el diseño del equipo: $V_{tr} = 37,69 \text{ pie}^3$.

- Incremento de la dureza (40%): $D_f = 733,6 \text{ ppm como CaCO}_3$.

- Volumen disponible : $V_d = 37,69/1,2 = 31,41 \text{ pie}^3$.

=> Con los parámetros fijos y los datos anteriores:

De la ecuación (7.5): $c = 0,03412865 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón}$.

De la ecuación (7.6): $\alpha = 816,057 \text{ Kgrano como CaCO}_3$.

De las ecuaciones (7.9) y (7.10):

$$X = 15,23 \text{ pie}^3.$$

$$Y = 16,19 \text{ pie}^3.$$

Conclusión: Se Requiere 16 Pie^3 de Resina Nueva.

Se requiere 16 pie^3 de Resina Usada.

ABLANDADOR [45-II]

Para Resina Usada Con Tratamiento Químico

Datos:

$$Cr = 22,6 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3$$

$$Df = 150 \text{ ppm como CaCO}_3$$

$$Di = 524 \text{ ppm como CaCO}_3$$

$$Q = 99,63 \text{ GPM}$$

$$\theta = 4 \text{ Hr}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

$$\text{De la ecuación (7.5): } c = 0,02187134 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón.}$$

$$\text{De la ecuación (7.6): } \alpha = 522,97 \text{ Kgrano como CaCO}_3.$$

$$\text{De la ecuación (7.7): } Vr = 23,14 \text{ pie}^3.$$

$$\text{De la ecuación (7.8): } \mathbf{Vtr = 27,77 \text{ pie}^3}$$

Para Resina Nueva

Dato:

$$Cr = 30 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

Resultados:

$$\text{De la ecuación (7.7): } Vr = 17,43 \text{ pie}^3.$$

$$\text{De la ecuación (7.8): } \mathbf{Vtr = 20,91 \text{ pie}^3}$$

De los cálculos anteriores establecemos los parámetros fijos:

- Volumen permitido por el diseño del equipo: $V_{tr} = 37,69 \text{ pie}^3$.
- Incremento de la dureza (40%): $D_f = 733,6 \text{ ppm como } \text{CaCO}_3$.
- Volumen disponible : $V_d = 37,69/1,2 = 31,41 \text{ pie}^3$.

=> Con los parámetros fijos y los datos anteriores:

De la ecuación (7.5): $c = 0,03412865 \text{ Kgrano como } \text{CaCO}_3/\text{galón}$.

De la ecuación (7.6): $\alpha = 816,057 \text{ Kgrano como } \text{CaCO}_3$.

De las ecuaciones (7.9) y (7.10):

$$X = 14,35 \text{ pie}^3.$$

$$Y = 17,06 \text{ pie}^3.$$

Conclusión: Se Requiere 15 Pie^3 de Resina nueva.

Se requiere 17 pie^3 de Resina usada.

REQUERIMIENTO DE SALMUERA:

Flujo promedio de retr lavado = $6 \text{ GPM}/\text{pie}^2$

$$= 75,40 \text{ GPM}$$

Concentración de regenerante = 12% de sal

Flujo promedio de regenerante = $0,4 \text{ GPM}/\text{pie}^3$

$$= 12,56 \text{ GPM}.$$

Volumen de salmuera = $264,18 \text{ gal}$.

Flujo promedio de enjuague = $1,5 \text{ GPM}/\text{pie}^3$.

POR LO TANTO:

Tiempo de retrolavado = 15 min

Requerimiento de agua de retrolavado

= 1 131 gal

Tiempo de asentamiento = 5 min

Tiempo de regeneración = 22 min

Requerimiento de sal = 120 kg

Tiempo de enjuague = 30 min

Requerimiento de agua de enjuague

= 1 413,4 gal.

Como se regenera dos unidades de ablandamiento por día, entonces, el total de sal utilizada será: 240 kg/día.

7.- ASPECTOS TÉCNICOS DE LA ALTERNATIVA N° 2.

Desarrollamos los aspectos técnicos de la alternativa N° 2 de igual forma que la alternativa N° 1, es decir primero los aspectos de mejora para el sistema de tratamiento de agua industrial, luego los aspectos técnicos de mejora para el sistema de tratamiento de agua potable.

a.- PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA INDUSTRIAL:

Fundamentalmente esta alternativa plantea lo siguiente:

- 1.- Instalación de un equipo ablandador con dimensiones tal que opere en paralelo con otro ablandador existente para cumplir con los requerimientos futuros.
- 2.- Operar cada ablandador a la mitad de flujo requerido (52,85 GPM), por lo tanto operar dos ablandadores en paralelo por día operado.

Los siguientes cálculos permitirá determinar las dimensiones óptimas de diseño, para mejorar los aspectos fundamentales siguientes:

- a).- La flexibilidad operativa del futuro, es decir que no afecte un incremento de dureza en el agua cruda del 40% por lo menos (733,6 ppm CaCO_3), para el cumplimiento de los requerimientos.
- b).- Los costos de reposición de resina y disminuir los costos de instalación.

CALCULO DEL DISEÑO PARA EL NUEVO EQUIPO ABLANDADOR INDUSTRIAL A INSTALAR.

El diseño del nuevo ablandador tiene que cumplir los siguientes requerimientos:

Datos:

$$Cr = 30 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

$$Df = 5 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Di = 524 \text{ ppm como CaCO}_3, \dots, 733,6 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

(incremento del 40%).

$$Q = 52,85 \text{ GPM}$$

$$\theta = 8 \text{ Hr}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

De la ecuación (7.5): $c = 0,04260818 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón}.$

De la ecuación (7.6): $\alpha = 1080,88 \text{ Kgrano como CaCO}_3.$

De la ecuación (7.7): $Vr = 36,03 \text{ pie}^3.$

De la ecuación (7.8): $Vtr = 43,24 \text{ pie}^3$

Se define el Área: $A = 15,9 \text{ pie}^3.$

De la ecuación (7.4): $hr = 2,72 \text{ pie}.$

De la ecuación (7.3); $htot = 5,44 \text{ pie}.$

Por lo tanto, las dimensiones del nuevo ablandador será:

Diámetro: $\phi = 54".$

Altura: $H = 65,3".$

Las dimensiones del ablandador son aceptables por que tiene el mismo diámetro de los demás ablandadores e inclusive de menor tamaño. Pero para poder cumplir los requerimientos mínimos del futuro tiene que operar en paralelo con un ablandador existente, a este ablandador existente se tendrá que reponer la misma cantidad de resina calculada en la alternativa N° 1 para que cumpla con dichos requerimientos. Por lo tanto podemos concluir que esta alternativa generará mas costos que la primera mencionada.

b.- PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE:

Fundamentalmente esta alternativa plantea lo siguiente:

- 1).- Adquirir un equipo ablandador con dimensiones que permita una operatividad mas flexible, para el cumplimiento de los requerimientos futuros.
- 2.- Operar cada ablandador a la mitad de flujo requerido (49,815 GPM), por lo tanto operar dos ablandadores en paralelo por día operado.

Los aspectos fundamentales para mejorar son los mismos que para la mejora para el sistema de agua industriales. Entonces el cálculo del diseño del nuevo ablandador potable es como sigue:

CALCULO DEL DISEÑO PARA EL NUEVO ABLANDADOR POTABLE A INSTALAR

El diseño del nuevo ablandador tiene que cumplir los siguientes requerimientos:

Datos:

$$Cr = 30 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{pie}^3.$$

$$Df = 150 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

$$Di = 524 \text{ ppm como CaCO}_3 \dots\dots\dots 733,6 \text{ ppm como CaCO}_3.$$

(incremento del 40%).

$$Q = 99,63 \text{ GPM.}$$

$$\theta = 8 \text{ Hr.}$$

$$\beta = 0,2$$

Resultados:

$$\text{De la ecuación (7.5): } c = 0,03412865 \text{ Kgrano como CaCO}_3/\text{galón.}$$

$$\text{De la ecuación (7.6): } \alpha = 1 \text{ 632,11 Kgrano como CaCO}_3.$$

$$\text{De la ecuación (7.7): } Vr = 54,40 \text{ pie}^3.$$

$$\text{De la ecuación (7.8): } Vtr = 65,28 \text{ pie}^3$$

$$\text{se define el Área: } A = 12,56 \text{ pie}^2.$$

$$\text{De la ecuación (7.4): } hr = 5,19 \text{ pie.}$$

$$\text{De la ecuación (7.3); } htot = 10,40 \text{ pie.}$$

Por lo tanto, las dimensiones del nuevo ablandador será:

Diámetro: $\phi = 48''$.

Altura: $H = 124,74''$.

Conclusión: Las dimensiones del ablandador no son aceptables por que teniendo el mismo diámetro que los demás ablandadores tendría un tamaño excesivo (3,17 mt.). Pero para poder cumplir los requerimientos mínimos del futuro tiene que operar en paralelo los dos ablandadores existentes un ciclo y el otro ciclo el nuevo equipo ablandador, a estos ablandadores existente se tendrá que reponer la misma cantidad de resina calculada en la alternativa N° 1 para que cumpla con dichos requerimientos. Por lo tanto podemos concluir que esta alternativa generará mas costos que la primera mencionada.

8.- SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.

Después de plantear las bases y los aspectos técnicos de las dos alternativas para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua. Podemos concluir que la mejor alternativa es la N° 1, por las siguientes razones comparativas de la tabla N° 7.6

RAZONES COMPARATIVAS

ALTERNATIVA Nº 1	1.-	Requiere básicamente 114 pie ³ de resina nueva.
	2.-	Requiere 600 kg de sal/día operado.
	3.-	El modo de operación le permite tener un equipo en stand-by.
	4.-	No necesita modificaciones sustanciales en las líneas de tuberías para el cumplimiento de su modo de operación.
	5.-	Se aprovecharía las mismas instalaciones de los instrumentos de control.
ALTERNATIVA Nº 2	1.-	Requiere básicamente 158 pie ³ de resina nueva y dos equipos ablandadores nuevos.
	2.-	Requiere 600 kg de sal/día operado.
	3.-	El modo de operación no le permite tener un equipo en stand-by.
	4.-	Si necesita modificaciones importantes en las líneas de tuberías para cumplir con su modo de operación.
	5.-	Se modificaría las instalaciones de los instrumentos de control.

Tabla N° 7.6

Escogida la mejor alternativa, planteará en forma de resumen los parámetros importantes así como los resultados de la alternativa, los modo de operación y requerimientos.

VARIABLE	UNIDAD	CANTIDAD
Dureza del agua de entrada.	ppm como CaCO ₃	733,6
Dureza del agua de salida.	ppm como CaCO ₃	150
Flujo a tratar.	GPM	99,63
Tiempo de producción.	hr.	4
Tiempo de regeneración.	hr.	3
Numero de ciclos por día.	-----	2
Tipo de resina utilizada.	-----	AMBERLITE 120 ciclo Na
NaCl al 15%.	Kg/ciclo	300
Capacidad de intercambio de la resina:	Kgrano/pie ³	[45-1] = 26,10
	Kgrano/pie ³	[45-2] = 26,07
Presión de trabajo.	lb/pulg ²	56-58
Volumen de agua a producir por ciclo.	gln.	47 822,4
Número de unidades de ablandamiento.	-----	2
Disposición de los ablandadores.	-----	paralelo
Temperatura del agua (máx).	°C	25
Caudal de entrada del agua al clorador.	GPM	398 ^[1]
Cloro residual.	ppm	0,5

Tabla N° 7.7. Agua Potable (Unidad de Ablandamiento).

[1] Este valor fue estimado basado en la producción de agua potable, por falta de un medidor de flujo.

VARIABLE	UNIDAD	CANTIDAD
Dureza del agua de entrada.	ppm como CaCO ₃	733,6
Dureza del agua de salida.	ppm como CaCO ₃	12
Flujo a tratar.	GPM	105,7
Tiempo de producción.	hr.	4
Tiempo de regeneración.	hr.	3
Numero de ciclos por día.	-----	2
Tipo de resina utilizada.	-----	AMBERLITE 120 ciclo Na
NaCl al 15%.	Kg/ciclo	450
Capacidad de intercambio de la resina:	Kgrano/pie ³	[45-1] = 27,10
	Kgrano/pie ³	[45-2] = 27,23
	Kgrano/pie ³	[45-3] = 27,33
Presión de trabajo.	lb/pulg ²	56-58
Volumen de agua a producir por ciclo.	gln.	50 736
Número de unidades de ablandamiento.	-----	3
Disposición de los ablandadores.	-----	paralelo
Temperatura del agua (máx).	°c	25

Tabla N° 7.8: Agua Industrial (Unidad de Ablandamiento).

A continuación en la tabla 7.9 se mencionan los valores de reposición de resina, condiciones de operación para la regeneración de resina, el procedimiento para el lavado de resina con HCl y finalmente el resumen de los requerimientos totales que plantea la alternativa N°1.

	UNIDAD	44-I	44-II	44-III
Volumen de resina nueva repuesta.	pie ³	28	27	28
Volumen de resina usada lavada.	pie ³	12	13	12
Volumen total de resina.	pie ³	40	40	40
Capacidad de la resina nueva.	Kgrano como CaCO ₃ /pie ³	30	30	30
Capacidad de la resina usada.	Kgrano como CaCO ₃ /pie ³	20,6	21,5	21,1
Capacidad promedio.	Kgrano como CaCO ₃ /pie ³	27,1	27,23	27,33

Tabla N° 7.9: Reposición de Resina (Para Agua Industrial).

	UNIDAD	44 I	44-II
Volumen de resina nueva repuesta.	pie ³	16	15
Volumen de resina usada lavada.	pie ³	17	17
Volumen total de resina.	pie ³	32	32
Capacidad de la resina nueva.	Kgrano como CaCO ₃ /pie ³	30	30
Capacidad de la resina usada.	Kgrano como CaCO ₃ /pie ³	22,2	22,6
Capacidad promedio.	Kgrano como CaCO ₃ /pie ³	26,1	26,07

Tabla N° 7.10: Para Agua Potable.

**CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA REGENERACIÓN A LOS
REQUERIMIENTOS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA**

PROCESO	FLUJO (GPM)	TIEMPO (min)	REQ. DE AGUA (GAL)
Contralavado.	95	15	1 425
Asentamiento.	50	5	250
Inyección de la salmuera.	16	25	397,5
Enjuague.	60	30	4 500
Tiempo muerto ^[1] .	-----	105	-----

Tabla N° 7.11: Para Agua Industrial.

PROCESO	FLUJO (GPM)	TIEMPO (min)	REQU.DE AGUA (GAL)
Contralavado.	75	15	1 131
Asentamiento.	50	5	250
Inyección de la salmuera.	12,5	22	276
Enjuague.	47	30	1 410
Tiempo muerto.	-----	100	-----

Tabla N° 7.12: Para Agua Potable.

[1] Es el tiempo que demora el operador para preparar la salmuera, desde la descarga de la sal al tanque de agitación hasta el inicio de la inyección de la salmuera.

	UNIDAD	INDUSTRIAL	POTABLE
Concentración del ácido (HCl).	% en peso	10	10
Flujo de inyección del ácido.	pie ³ /h	160	128
Tiempo de remojo con ácido.	hr.	6	6
Volumen de ácido (HCl).	pie ³	105,9	70,6
Inhibidor de corrosión,	ppm	15	15
volumen de regenerante.	pie ³	105,9	70,6

Tabla N° 7.13: Condiciones de Operación para el Lavado con HCl.

RESUMEN DE LOS REQUERIMIENTOS PARA LA MEJOR ALTERNATIVA SELECCIONADA

En la tabla N° 7.14 se establece los requerimientos totales para el cumplimiento de la realización de la alternativa de mejora.

	UNIDAD	CANTIDAD
VOLUMEN DE RESINA NUEVA AMBERLITE IR-120, CICLO Na.	pie ³ .	114
PESO DE SAL/DÍA OPERADO.	Kg/día.	750
VOLUMEN DE HCl/DÍA DE LAVADO.	pie ³ /día.	176,5

Tabla N° 7.14: Resumen de los requerimientos para la mejor alternativa seleccionada.

RESULTADOS DE LA MEJORA

- a.- Se garantiza el cumplimiento de los requerimientos máximos permitidos de dureza para el agua tratada.

Agua Industrial : 5 ppm como CaCO_3 .

Agua Potable : 150 ppm como CaCO_3 .

- b.- Se garantiza el cumplimiento de los requerimientos mínimos de flujo de agua tratada.

Agua Industrial : 105,7 GPM.

Agua Potable : 99,63 GPM.

- c.- Se asegura una operación sin problemas cumpliendo los requerimientos anteriormente mencionados; aún cuando la dureza del agua de pozo se incremente en un 40% de su valor actual, lo que significa hasta 733,6 ppm como CaCO_3 . Cabe mencionar que la dureza del agua de un pozo puede variar desde 300 hasta 800 ppm como CaCO_3 .

Lo anterior demuestra que la planta tiene una flexibilidad operativa del 27,15 %, es decir cada ablandador puede intercambiar hasta 5,08 hr. cumpliendo con los requerimientos futuros.

9.- ACCIONES INMEDIATAS PARA LA MEJORA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA

Las siguientes acciones son complementarias a la alternativa seleccionada, las cuales contribuirán en el mejor funcionamiento de la planta de tratamiento de agua.

Se listará las acciones a realizarse mencionándose el sustento técnico, para que luego en el capítulo VIII se evalúe económicamente.

a.- MANTENIMIENTO INTERNO DE LOS ABLANDADORES:

SUSTENTO DE LA ACCIÓN A REALIZAR:

Causa:

- La estructura interna de los ablandadores se encuentran dañados por la corrosión.

Consecuencia:

- Al generar la corrosión partículas de Fe o desprendimiento de partículas sólidas, la resina de intercambio iónico se contamina; llegando a disminuir considerablemente su capacidad de intercambio y en algunos casos el deterioro total de la resina.

Alternativas de solución:

Recubrimiento con:

- Pintura anticorrosiva,
- Fibra de vidrio.

b.- MANTENIMIENTO INTERNO Y EXTERNO DE LOS TANQUES DE PREPARACIÓN DEL REGENERANTE:

JUSTIFICACION DE LA ACCIÓN A REALIZAR:

Causa:

- La estructura interna y externa de los tanques se encuentran gravemente dañados por la corrosión, generado por la solución de salmuera utilizado como regenerante.

Consecuencia:

- Al generarse la corrosión en dichos tanques y luego con el ingreso de la salmuera, las partículas de Fe o las partículas desprendidas sólidas ingresan al ablandador, llegando a contaminarse la resina de intercambio iónico. En consecuencia disminuye considerablemente su capacidad de intercambio y en algunos casos el deterioro total de la resina.

Alternativas de solución:

Recubrimiento con:

- Pintura anticorrosiva,
- Fibra de vidrio.

Construcción con otro material:

- Concreto,
- Polímero.

c.- CAMBIO DE LAS TUBERÍAS Y LAS 5 VÁLVULAS DE COMPUERTA (3/4" ϕ ROSC. 150 psi) DE LA LÍNEA DE INGRESO DEL REGENERANTE:

JUSTIFICACION DE LA ACCIÓN A REALIZAR:

Causa:

- Las paredes internas y externas de las tuberías y las 5 válvulas de compuerta (3/4" ϕ ROSC. 150 psi) de la línea de ingreso del tanque regenerante se encuentran gravemente dañados por la corrosión, generado por la solución de salmuera utilizado como regenerante.

Consecuencia:

- Al generarse la corrosión en las tuberías y válvulas anteriormente mencionadas, con el ingreso de la salmuera, las partículas de Fe ingresan al ablandador, contribuyendo así a la contaminación de la resina de intercambio iónico.
- Al comoerse las válvulas estas se convierten en muy dfficultosas y peligrosas para su manipuleo. En consecuencia disminuye la operaciotividad del sistema de inyección del regenerante.

Alternativas de solución:

Cambio de tuberías de otro material, como:

- PVC,

Cambio de válvulas de material menos corrosivo

d.- REPARACIÓN DE LAS 2 VÁLVULAS DE ALTITUD (de 2" ϕ Embr.) DE LA LÍNEA DE SALIDA DEL AGUA PRODUCIDA Y CAMBIO DE LUGAR DE LAS VÁLVULAS:

JUSTIFICACION DE LA ACCIÓN A REALIZAR:

Causa:

- Las válvulas mencionadas cuando funcionaban, estas generaban una diferencia de presión muy alta; tal que generaba altas vibraciones y deformaciones en las uniones o empalmes de las tuberías.
- Al percatarse esos inconvenientes el personal trabajó las válvulas.

Consecuencia:

- Las altas vibraciones generadas al cerrar la válvula dañaban los instrumentos de control severamente.
- También generaban peligro de rotura de tuberías, teniendo como antecedente la deformación de un empalme de tubería.

Alternativas de solución:

- Cambiar la posición de las válvulas de altitud, de la línea de salida del agua tratada a la línea de entrada del agua cruda.
- Reparar (destrabar) las válvulas para que si en un caso de sobre producción de agua tratada industrial o potable, no genere un derramamiento.

e.- CANCELAR LA LÍNEA DE COMBINACIÓN DEL AGUA CRUDA CON EL AGUA ABLANDADA EN EL SISTEMA DE OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE:

JUSTIFICACION DE LA ACCIÓN A REALIZAR:

Causa:

- En la producción de agua potable primero se reduce la dureza de agua a 5 ppm como CaCO_3 , para luego combinar con agua cruda de 524 ppm como CaCO_3 para que finalmente el agua potable tenga 150 ppm como CaCO_3 .

Consecuencia:

- La producción de agua potable de esta manera genera una operatividad muy incómoda, por que el agua cruda que se combina puede variar de dureza en el tiempo, y se tendría que recalcular siempre los flujos y valores de dureza para confiar en el agua producida.
- También se afirma que al tratar el agua cruda primero a valores de 5 ppm como CaCO_3 o durezas menores se intercambien más cationes, es decir se utilice más volumen de resina en cada ablandador. Pero esto puede ser manejado con el flujo, es decir puede ser que el flujo de entrada al ablandador no sea elevado; generando así una disminución en el volumen de resina. Pero finalmente los cálculos no justifican una combinación de agua ablandada

con agua cruda, por que los ablandadores diseñados pueden fácilmente satisfacer el volumen de resina para un tratamiento directo, y así tener un buen control de la calidad del agua producida.

Alternativas de solución:

- Cancelar la línea de combinación del agua cruda, mediante una válvula de compuerta existente en la misma línea. Reservar esta para cualquier eventualidad de la operación.

f.- PUESTA EN MARCHA DE LOS ANALIZADORES DE DUREZA EN LÍNEA (D1220 DE Hach):

JUSTIFICACION DE LA ACCIÓN A REALIZAR:

Causa:

- Los analizadores de dureza en línea (D1220) nunca estuvieron operativos.
- El analizador de dureza para el agua potable como para el agua industrial es para 5 ppm como CaCO_3 . Sin embargo para la producción de agua potable supuestamente primero reducen la dureza de agua a 5 ppm como CaCO_3 , para luego combinar con agua cruda de 524 ppm como CaCO_3 para que finalmente el agua potable tenga 150 ppm como CaCO_3 . Dicha manera de producción es muy inconveniente Según lo explicado en el punto "e". Por lo tanto el analizador

de dureza tendría que estar en la línea de agua potable producida, es decir en la línea de 150 ppm como CaCO_3 .

Consecuencia:

- La no operatividad de estos equipos generan, su deterioro, la falta de uso, lo más importante es que no existe un buen control que en tiempo real nos indique si se cumple o no, con los requerimientos de dureza establecidos.
- Si la puesta en marcha de estos analizadores es realizada sin considerar el punto "e", no serviría de nada, es decir no sólo el control sería indirecto y casi no confiable, sino que el gasto en los reactivos no serían aprovechados.

Alternativas de solución:

- Poner operativos los analizadores de dureza por ser muy útiles en las operaciones del control en tiempo real de la dureza del agua producida.
- Cambiar el rango del análisis para el analizador de dureza del agua potable (a 150 ppm como CaCO_3). Y por consiguiente instalar el analizador de dureza en la línea de salida del agua potable y no antes de la línea de combinación del agua cruda.

**g.- PUESTA EN MARCHA DE LOS MEDIDOR DE FLUJO
BAGDER METER:**

JUSTIFICACION DE LA ACCIÓN A REALIZAR:

Causa:

- Los medidores de flujo bagder meter, no están operando adecuadamente.
- El sistema de control de la planta está conformado por el controlador de tiempo, la válvula Solomatic y el medidor de flujo Bagder meter.

Consecuencia:

- Al no operar bien el medidor de flujo, obliga que todo el sistema de control que debiera ser automático se este operando manualmente.

Alternativas de solución:

- Poner operativos los medidores de flujo Bagder Meter. Para que la operación sea mas versátil es decir automático.

**h.- OTRAS ACCIONES PARA LA MEJORA INMEDIATA DEL
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA:**

- h.1.- Limpieza de los tanques de almacenamiento del agua producida (agua potable e industrial).

- h.2.- Mantenimiento de 4 válvulas de compuerta de 3" ϕ Rosc, 150 psi.
- h.3.- Mantenimiento de 4 válvulas de compuerta de 1/2" ϕ Rosc, 150 psi.
- h.4.- Limpieza permanente de los rotámetros.
- h.5.- Mantenimiento de 1 rotámetro.
- h.6.- Instalar un rotámetro.

10.- RECOMENDACIONES Y ACCIONES REALIZADAS.

a.- DISEÑO E INSTALACIÓN DEL EQUIPO DESTINADO A LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD REAL DE INTERCAMBIO IÓNICO EN GENERAL:

La descripción del procedimiento para la evaluación de la capacidad de intercambio de una resina de intercambio iónico fue realizada en el punto 3.a de este capítulo. En este punto se resalta la importancia de este equipo diseñado, instalado y puesta en marcha en el laboratorio de mantenimiento químico del centro Nuclear RACSO, pues este equipo permitió establecer la situación exacta en que se encontraba la planta de tratamiento de agua.

Por lo tanto, este diseño es la parte fundamental del trabajo realizado y un aporte a la investigación en el campo del tratamiento de agua con resina de intercambio iónico.

A continuación se listan los materiales, equipos y reactivos químicos utilizados en dicha evaluación.

MATERIALES:

Para la construcción del equipo de muestreo.

- 1 tubo de PVC de 3 pulg. de diámetro y 2,5 m. de longitud.
- 1 tubo de polivinilo de 1/2 pulg. de diámetro y 3 m. de longitud.

Para Realizar El Muestreo.

- Un bécquer de 2 L., para remojar por una hora la resina muestreada.
- Un bécquer de 400 ml., para transferir la porción de muestra a evaluar.

Para La Instalación Del Equipo Evaluador.

- 1 tubo de vidrio transparente de 1 pulg de diámetro interno y aproximadamente 1,5 mt de largo.
- Tuberías de 6 mm. de diámetro interno, para las conexiones de entrada y salida del agua.
- 6 válvulas de vidrio de 6 mm. de paso.
- Una cinta métrica impermeable al agua, para calibrar el tubo de 1.5 mt.
- Lana de vidrio como soporte al lecho de la resina, 11 cm. de longitud aproximadamente.
- Manguera de plástico de 5 mt. de longitud, para conexiones de toma y drenaje del agua.
- Dos bombas perestálticas, para regular los flujos de ingreso de contralavado, regeneración, lavado y agotamiento.

Para la evaluación de las capacidades

- Un recipiente de por lo menos 15 L. de capacidad, para la preparación e inyección del agua standard A preparada.

- Una probeta de 50 mL, para verificar el flujo de salida de las soluciones.
- Una probeta de 1 L., para medir la cantidad de agua A usada.
- Vasos y otros recipientes de vidrio.

REACTIVOS:

Para la preparación del agua standard A.

- Cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): 0,415 gr/L de agua A.
- Sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$): 0,49 gr/L de agua A.
- Na_2CO_3 (30 g/L), para ajustar el pH a 7,5.

Para la regeneración.

- Cloruro de Sodio (100 g/l).

Para la evaluación de la dureza.

- Dos Kits para la evaluación de la dureza total uno para rangos altos (Hach) y el otro para rangos bajos (Merck).

A continuación se muestra el equipo instalado en el laboratorio del grupo mantenimiento químico.

b.- EVALUCION DEL ESTADO FÍSICO DE LA RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO A DIFERENTES CONDICIONES:

A la resina que fué muestreada de los ablandadores se le tomaron placas fotográficas, en un microscopio estereo a un aumento de 110 X.

En las placas fotográficas se muestran las resinas en las siguientes condiciones de tratamiento:

- Resina Industrial y Potable Sin Tratamiento.
- Resina Industrial y Potable Lavado con agua.
- Resina Industrial y Potable Lavado con HCl a 10%.

c.- PUESTA EN MARCHA EL ANALIZADOR DE DUREZA 1220:

Se puso en marcha el analizador de dureza en línea 1220 de marca HACH. A continuación se describe el equipo y los pasos para ponerlo en marcha.

c.1.- DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO:

El monitor de dureza 1220 esta diseñado para mantener continuamente los afluentes de los ablandadores de agua para detectar la dureza debido al agotamiento de los ablandadores. Analiza agua comercial como industrial operando los ablandadores para establecer control automático de su sistema para la iniciación de la secuencia regeneradora con el circuito de alarma del instrumento. Seleccionando el apropiado indicador de dureza y el baffle, el monitor

alarmara 1, 2, 5, 10, 50, ó 100 mg/L de dureza medido como CaCO_3 . Cuando el punto de alarma preseleccionado es excedido el revelador de la alarma responde, cerrando los contactos normalmente abiertos y abriendo los normalmente cerrados. Estos contactos secos pueden ser usados como anunciadores y/o para iniciar la regeneración de los ablandadores. El panel contiene indicadores que señalan "duro" o "blando" según el status de la muestra también como se aproxime el porcentaje de la transmitancia de la luz en una base continua.

Los componentes electrónicos estan aislados del compartimiento hidráulico. Las ventanas permiten al operador observar el despliegue del indicador y el abastecimiento del reactivo sin abrir el instrumento.

c.2.- PRINCIPIO DE OPERACIÓN:

El monitor de dureza usa una solución indicadora de dureza colorimétrica que es mezclada con la muestra de agua como flujo a través del instrumento. Mientras en la celda colorimétrica, la luz es transmitida a través de la solución a un detector que da la medida colorimétrica.

Las soluciones indicadoras son formuladas para dar una transmitancia (%T) del 50% al detectar hacia el punto de valores de la alarma nominal. Debajo del 50% el color de la mezcla del reactivo y muestra es azul. Ya que la fuente de luz para la medida colorimétrica es un diodo que emite luz naranja, una solución roja permite a la luz ser transmitida inatenuablemente a través de la celda de medida al

detector. La transmitancia máxima de la luz a través de la celda ocurre cuando todo el reactivo indicador disponible ha reaccionado con la muestra y cualquier adicional incremento de dureza no tiene efecto en el color de la solución.

Un lineal módulo de válvula/bomba perestáltica controla el flujo del ingreso de muestra e inyecta volúmenes medidos de buffer e indicador en un ciclo secuenciado. El módulo de bomba/válvula usa un motor-driven cam para operar el ajuste de tubo contra el plato, la secuencia operacional es como sigue:

- 1.- La línea de entrada de la muestra, de 5 a 10 psi de presión regulada, es abierta. Permanece abierta para permitir el flujo suficiente de muestra para purgar la línea de entrada y medir la celda. Mientras la entrada de muestra esta fluyendo, la válvula de entrada del reactivo y la bomba es abierta, llenando el tubo del módulo con reactivo.
- 2.- La línea de entrada es luego cerrada, dejando la muestra fresca en la celda. El volumen de la celda es controlada por una presa de sobreflujo.
- 3.- La entrada del reactivo esta cerrada.
- 4.- La válvula de salida del reactivo se abre y la bomba presiona al tubo, quedando el reactivo dentro de la celda. Un agitador magnético es colocada debajo de la celda para mezclar la muestra y el reactivo. Suficiente tiempo permite que la muestra y el reactivo reaccionen.

5.- Un interruptor óptico da la señal al circuito para que tome una medida.

Este ciclo es repetido cada 2 minutos.

Cada 2 minutos, como se describe a continuación, la electrónica se dispara para medir el nivel de luz mediante el foto detector. Si la luz medida es igual o mayor que 50% T, un circuito digital lógico es disparado. Dos consecutivos 50% T o bajas lecturas causaran que se active la alarma después de completar el siguiente ciclo de medida. Por requerir de 2 lecturas altas consecutivas para iniciar una alarma, las señales de alarma errónea al encender el instrumento, o en la reiniciación del flujo de la muestra después de un tiempo (como ocurriría durante una regeneración) o temporal excursiones de dureza pequeña son evitados. Una lectura debajo de 50% T causa que el circuito de alarma desactive después de completar el siguiente ciclo de medida.

c.3.- INSTALACIÓN DE REACTIVOS:

El espacio está dado en el compartimiento hidráulico para colocar una botella de litro de cada uno de los 2 reactivos.

Reemplazar las tapas de las botellas con tapas abastecedoras en el kit de accesorios e insertar el apropiado tubo rojo a través de los agujeros de la tapa. Estar seguro que los tubos están bien insertados en los reactivos hasta que lleguen al fondo de las botellas. Los tubos

son etiquetados BUFER Y INDICATOR y deben ser insertados en sus correspondientes soluciones.

c.4.- PREPARAR EL MODULO DE BOMBA/VÁLVULA:

Los 4 tornillos de seguridad de plato al frente del módulo de la bomba/válvula fueron removidos del equipo antes de salir de la fábrica para evitar así que los tubos se peguen mientras no se está usando el monitor. Los tornillos deberán ahora ser instalados para habilitar que los tubos de la bomba sean ajustados durante la secuencia de bombeo. Ajustar moderadamente si se sobreajusta, los tornillos son difíciles de ser sacados.

c.5.- INSTALACIÓN DE LA BARRA DE AGITACION:

Un pequeño magneto para la celda de la muestra en el colorímetro está incluido en los accesorios del kit. Instalarlo abriendo la tapa del colorímetro y gotear el magneto dentro del hueco en la parte superior del colorímetro. La barra debe descansar en la base del agujero vertical.

NOTA: La barra debe ser instalada para que el instrumento opere apropiadamente.

c.6.- MUESTRA ENCENDIDA:

Empezar el flujo de la muestra a través del instrumento abriendo la válvula de abastecimiento. Regular la presión a 5 - 10 psig.

NOTA: La muestra puede ser abastecida por un sistema de gravedad. Para hacerlo, el regulador de la presión debe ser conectado a la línea de la muestra directamente a la entrada. Un mínimo de 2 pies de presión es recomendado.

Colocar el switch POWER en ON y dejar que el monitor opere por una hora para conseguir que el sistema se humedezca completamente con el reactivo y la muestra.

NOTA: Este proceso puede reducirse a 15 minutos desconectando la línea de alimentación del reactivo de la entrada al módulo de la bomba/válvula y usando una jeringa para empujar y llenar los reactivos a través de las líneas.

c.7.- CHEQUEO OPERACIONAL:

Después que el instrumento ha sido corrido suficientemente para estar completamente húmedo, su operación debe ser chequeado de la siguiente manera:

NOTA: Hasta que la superficie de la celda de la muestra este completamente húmeda, las burbujas podrían adherirse a las celdas de la muestra y causar lecturas erróneas. Esta condición es temporal. Su duración depende del contenido de oxígeno disuelto en la muestra.

- 1).- Estandarizar el incremento como se describe en el párrafo c.8.
- 2).- Abrir la tapa del colorímetro y adicionar 2 gotas de EDTA a la parte abierta del colorímetro. Cerrar la tapa.
- 3).- Observar el porcentaje de transmitancia desplazado y verificar que la lectura este por debajo del 50% de transmitancia.
- 4).- Abrir el colorímetro y añadir 2 gotas de $MgCO_3$ a la muestra.
Cerrar la tapa
- 5).- Observar el porcentaje de transmitancia y verificar que la lectura este sobre el 50% de T.

c.8.- STANDARIZACION:

Uno de los 2 métodos siguientes de standarización debe ser usado después de instalado el reactivo o cuando los componentes del sistema óptico han sido reemplazados. En el primer método, la muestra es ajustada para llegar hasta dura o blanda y el span es ajustada para dar una medida igual oscilante a cualquier lado del punto de la alarma. Este método consiste en:

- 1).- Con el instrumento en operación, abrir el colorímetro y observar el flujo a través del colorímetro. En el punto de la secuencia en medida donde la celda de la muestra ha sido recién sonrojada y la inyección del reactivo esta empezando, añadir 2 gotas de MgCO_3 , 10 gr/lit (agua dura) y cerrar. La solución será roja.
- 2).- Ajustar el control SPAN ADJ hasta que ambos indicadores O.R (sobre rango) y 100% T estén alumbrados.
- 3).- Ajustar el SPAN ADJ hasta que el indicador O.R se descargue.
- 4).- Abrir el colorímetro y observar el flujo a través del colorímetro. En el punto dado los reactivos están siendo añadidos a la muestra fresca como en el paso 1, añadir 2 gotas de EDTA, 10gr/L, y cerrar. La solución será azul.
- 5).- Anotar la lectura de % T. El valor del %T mostrado es la cantidad de ajuste necesitado en el paso 7 para cambiar el rango para un punto medio de 50% T.
- 6).- Repetir el paso 1.
- 7).- Ajustar el SPAN ADJ para reducir la lectura con el valor de la lectura del paso 5. Por ejemplo si la lectura en el paso 5 es 20% de T, luego ajustar el SPAN ADJ en este paso para 80% T. El instrumento ahora esta estandarizado.

El proceso de estandarización alterno para uso de una solución estándar de dureza igual en concentración al punto de alarma. Con el estándar de dureza y buffer en la celda de la muestra el control del SPAN es ajustado al punto de alarma. La secuencia es la siguiente:

- 1).- Apagar el flujo de la muestra al instrumento.
- 2).- Abrir el colorímetro y sonrojar la celda de la muestra completamente con la solución de standard de dureza apropiado (e.g., un estándar de 5mg/L para un punto de alarma 5mg/L).
- 3).- Observar la celda de la muestra. Cuando la inyección del reactivo causa la coloración del estándar cerrar el colorímetro y ajustar el SPAN ADJ hasta que el 50% T se apague.
- 4).- Restituir el flujo de la muestra.

CAPITULO VIII

EVALUACIÓN ECONÓMICA

1.- GENERALIDADES.

Para la evaluación económica del presente proyecto se considera lo siguiente:

a.- INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA TRATADA:

La producción de la actual planta de tratamiento de agua es de 52,8 gpm para el sistema de agua industrial y 66,42 gpm para el sistema de agua potable (promedio máximo, a flujo discontinuo); cuando el reactor opere las 24 horas a máxima potencia originará un incremento de 105,7 gpm para el sistema de agua industrial y 99,63 gpm para el sistema de agua potable (promedio aproximado).

Por el presente proyecto se logrará una mayor flexibilidad operativa con respecto a la dureza del agua cruda de ingreso, la cual

puede soportar hasta un 733,66 ppm como CaCO_3 , es decir un 40% mas de dureza. También una mayor flexibilidad operativa con respecto al tiempo de intercambio, la cual se puede incrementar en las condiciones futuras hasta 5,08 horas para cualquier emergencia, es decir un incremento del 23,15% del tiempo de intercambio.

b.- NUEVO COSTO DE PRODUCCIÓN DE AGUA TRATADA:

El actual costo de producción se verá afectado por:

- Incremento del consumo de solución regenerante de NaCl al 15% de 700 a 750 kg/día.
- Incremento de consumo de fluido eléctrico. Puede asumirse que el porcentaje del consumo total será el mismo, por que el tiempo de operación es el mismo (8hr/día).

Los demás rubros en que se divide el costo de producción, representado aproximadamente por el operativo, no sufrirán variaciones apreciables.

c.- BENEFICIO ECONÓMICO POR LA PRODUCCIÓN DEL AGUA TRATADA:

De no realizarse este proyecto, la planta de tratamiento de agua no podrá cubrir los requerimientos de agua industrial y agua potable cuando el reactor opere a máxima potencia las 24 horas. Para poder justificar la inversión de este proyecto consideraremos un valor

económico real de acuerdo a la producción del Centro Nuclear.

El beneficio económico será el 20% de las ventas de los radioisótopos producidos por el Centro Nuclear.

2.- CÁLCULOS PRELIMINARES A LA EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Son dados en las tablas que se muestran a continuación:

a.- PAUTAS ECONÓMICAS DEL AÑO 1 991 AL AÑO 2 005:

ANO	TASA DE CAMBIO (Promedio Anual) S/. / \$	TASA DE INFLACIÓN
1 991	1,2	78,4
1 992	1,75	35,3
1 993	1,95	20,4
1 994	2,09	13,58
1 995	2,25	11,43
1 996	2,3	10,5
1 997	2,4	10,5
1 998	2,5	10,4
1 999	2,6	10,2
2 000	2,7	10,0
2 001	2,8	10,4
2 002	2,9	10,1
2 003	3,0	10,5
2 004	3,1	9,75
2 005	3,2	9,95

Tabla N° 8.1 Pautas Económicas del año 1991 al año 2005

**b.- BENEFICIO ECONÓMICO PROMEDIO ANUAL DE LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUA:**

b.1.- EN CONDICIONES ACTUALES

AÑO	INGRESO	INGRESO
	(\$/.)	(\$.)
1 991	7 682,4	6 402
1 992	45 818,5	26 182
1 993	87 232,47	44 734,6
1 994	119 327,5	57 094,5
1 995	145 908	64 848
1 996	164 811,1	71 657
1 997	190 034,4	79 181
1 998	218 144,3	87 257,7
1 999	248 651,7	95 635,3
2 000	281 983,6	104 438,4
2 001	328 752,5	117 411,6
2 002	368 812,4	127 176,7
2 003	432 430,2	144 143,4
2 004	464 407,2	149 808,8
2 005	514 265,9	160 708,1

Tabla N° 8.2 (a): En condiciones actuales, en dolares del año.

b.2.- EN CONDICIONES FUTURAS

Para mencionar los beneficios o ingresos en el futuro consideraremos un factor de 3, esto debido a que el reactor a máxima

potencia operará por lo menos 3 veces mas en producción que en la actualidad.

ANO	INGRESO (\$/.)	INGRESO (\$.)
1 996	494 433,3	214 971
1 997	570 103,2	237 543
1 998	654 432,9	261 773,1
1 999	745 955,1	286 905,9
2 000	845 950,8	313 315,2
2 001	986 257,5	352 234,8
2 002	1 106 437,2	381 530,1
2 003	1 297 290,6	432 430,2
2 004	1 393 221,6	449 426,4
2 005	1 542 797 7	482 124 3

Tabla N° 8.3 (b). En condiciones futuras, en dólares de 1995

C.- COSTO DE LA MATERIA PRIMA (AGUA DE POZO):

C.1.- EN CONDICIONES ACTUALES

El costo de la materia prima es el costo que cobra Sedapal mensualmente por el agua de pozo extraído.

MES	ANO	COSTO
MAYO	1 994	1 443,7
JUNIO	1 994	708,3
JULIO	1 994	943,3
AGOSTO	1 994	2 005,1
SETIEMBRE	1 994	1 608,9
OCTUBRE	1 994	2 371,6
NOVIEMBRE	1 994	2 741,2
DICIEMBRE	1 994	2 209,7
ENERO	1 995	1 991,4
FEBRERO	1 995	2 100,5
MARZO	1 995	2 781,4
ABRIL	1 995	2 570,5
TOTAL EN EL PERÍODO DE ESTUDIO 1 año)		23 475,6

Tabla N° 8.4 (c). En condiciones actuales, en dólares del año.

C.1.- EN CONDICIONES FUTURAS

Para establecer el costo de la materia prima a condiciones futuras se tiene que considerar lo siguiente:

- La producción de agua tratada total se incrementa en un 72% aproximadamente.
- Las pérdidas de agua por factores de mala calidad, disminuye del 30% al 5% del total del agua producida.

Por lo tanto podemos establecer que el incremento del costo de la materia prima para condiciones futuras es el 50% mas con respecto a las condiciones actuales.

<u>AÑO</u>	<u>COSTO</u>
1 996	38 910,81
1 997	42 996,44
1 998	47 382,19
1 999	51 931,92
2 000	56 711,53
2 001	63 756,19
2 002	69 058,82
2 003	78 271,95
2 004	81 348,34
2 005	87 266,82

Tabla N° 8.5 (d). En condiciones futuras, en dólares del año 1995.

d.- COSTO FIJOS:

Los costos fijos comprende los siguientes rubros:

- Costo de regenerantes,
- Costo de fluido eléctrico, y
- Remuneraciones y beneficios.

d.1.- EN CONDICIONES ACTUALES

REGENERANTE

(S/. del año)

	1 994	1 995
CANTIDAD DE REGENERANTE		
(Kg)	50 000	65 000
COSTO UNITARIO		
(S./Kg)	5,05	5,8
COSTO TOTAL		
(S/.)	5 050	7 540

FLUIDO ELÉCTRICO

(S/. del año)

	1 994	1 995
COSTO ANUAL PROMEDIO		
(S/.)	301 215,34	358 446,26

REMUNERACIONES Y BENEFICIOS

(S/. del año)

	1 994	1 995
REMUN. Y BENEF. PROMEDIO		
(S/.)	9 739,13	16 800

d.2.- EN CONDICIONES FUTURAS

REGENERANTE					
(S/. del año 1 995)					
	996	1 997	1 998	1 999	2 000
CANTID. DE REGE.					
(Kg)	180 000	181 200	180 000	182 400	181 920
COSTO UNITARIO					
(S./Kg)	6,409	7,081	7,804	8,55	9,34
COSTO TOTAL					
(S/. de año 1995)	23 072	25 662	28 094	31 190	33 986

REGENERANTE					
(\$ del año 1 995)					
	1 996	1 997	1 998	1 999	2 000
COSTO TOTAL					
(\$ del año 1 995)	10 031	10 692	11 237	11 996	12 587

REMUNERACIONES, BENEFICIOS Y FLUIDO ELÉCTRICO

Para el cálculo del costo del fluido eléctrico consideramos el 1% del consumo total.

(\$. del año 1 995)

	1 996	1 997	1 998	1 999	2 000
REMUNERACIONES					
Y BENEFICIOS	1 722,1	1 823,6	1 929,2	2 033,1	2 138,1
FLUIDO ELECTRICO	8 071,3	8 547,1	9 042,2	9 529,3	10 020

Por lo tanto los costos fijos son:

(\$. del año 1 995)

	1 996	1 997	1 998	1 999	2 000
COSTOS FIJOS	19 824,6	21 062,9	22 209,2	23 558,7	24 746

e.- COSTO VARIABLES:

Los costos variables se distribuye de la siguiente forma (% del presente rubro).

- Costo de mantenimiento y reparación contratados (40%).
Gastos de mantenimiento y suministros (5%).
- Gastos de laboratorio y reactivos (25%).
- Gasto de almacén (10%).
- Gasto de obtención de agua cruda (20%).

Los costos variables se consideran el 25% de los costos fijos;

por lo tanto:

COSTOS VARIABLES

(\$. del año 1 995)

	1 996	1 997	1 998	1 999	2 000
COSTOS					
VARIABLES	4 956,1	5 265,7	5 552,3	5 889,6	6 186,6

f.- INVERSIÓN DE CAPITAL (en \$) :

COSTOS DIRECTOS:

- Adquisición de 114 pie³ resina de intercambio iónico Amberlite 120 ciclo Na⁺.

Precio : 130 \$/pie³.

Sub total : 14 820 \$.

- Cinco válvulas de bolas (3/4" φ. rosc. 150 psi) de acero inoxidable.

Precio : 81 \$/válvula.

Sub total : 405 \$.

- La cantidad de sal necesaria regenerante (por cinco años).

Sub total : 50 155 \$.

- Reparación y puesta en marcha de instrumentación automática.

Sub total : 2 000 \$.

- Tuberías y accesorios.

Sub total : 200 \$.

- Mantenimiento de los 5 ablandadores y de los tanques de mezcla de salmuera (recubrimiento con fibra de vidrio).

Sub total : 7 000 \$.

- Ampliación en la capacidad de tanque de almacenamiento en 14,46 m³ para el agua industrial.

Costo : 5 000 \$

TOTAL DE COSTOS DIRECTOS : 74 580 \$.

COSTOS INDIRECTOS:

- Ingeniería de supervisión.

Sub total : 1 000 \$.

- Contingencias.

Sub total : 2 000 \$.

TOTAL DE INVERSIÓN DE CAPITAL : 82 580 \$.

OBSERVACIONES

- El estimado de la compra de resina, válvulas, tuberías, mantenimientos y otros, tiene como base las cotizaciones realizadas en varias compañías del mercado, tomándose el valor promedio.

3.- EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Se usara el VPN (valor presente neto) como indicador para el presente proyecto.

Se evaluará el proyecto para los cinco primeros años de funcionamiento.

ESTADO DE GANANCIAS Y PERDIDAS

(\$. del año 1 995)

A O	1 996	1 997	1 998	1 999	2 000
INGRESOS	214 971	237 543	261 773,1	286 905,9	313 315,2
EGRESOS					
Materia Prima	38 910,8	42 996,4	47 382,1	51 931,9	56 711,5
Costos Fijos	19 824,6	21 062,9	22 209,2	23 558,7	24 746,4
Costos Variables	4 956,2	5 265,7	5 552,3	5 889,6	6 186,6
Gastos de Producción	63 691,5	69 325	75 143,6	81 380,2	87 644,5
UTILIDAD DE OPERACIÓN	151 279,5	168 218	186 629,5	205 525,7	225 670,7
Depreclación anual	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000
RENTA NETA	91 279,5	108 218	126 629,5	145 525,7	165 670,7
IMPUESTO A LA RENTA(30%)	27 383,5	32 465,4	37 988,7	43 657,71	49 701,21
UTILIDAD NETA	63 896	75 752 6	88 640,8	101 867,9	115 969,5

FLUJO DE CAJA PROYECTADO

(\$. del año 1 995)

ANO	1 995	1 996	1 997	1 998	1 999	2 000
INVERSIÓN	82 580					
UTILIDAD NETA		63 896	75 752,6	88 640,8	101 867,9	115 969,5
DEPRECIACIÓN		60 000	60 000	60 000	60 000	60 000
FLUJO NETO DE FONDOS		123 896	135 752	140 640	161 867	175 969
VPN		29 543	140 721			
TIEMPO DE RECUPERACIÓN		< 1 año				

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Acondicionamiento de Aguas para la Industria. 1976. M. Shepard.
- 2.- Advantaced of Packed Towers. NORTON Chemical Process Products Division. Akron Ohio. 1974.
- 3.- Amberlite Ion Exchange Resins. Rohm and Haas Company.
- 4.- Aplicacoes Industriais Da Radiacao, Cristina Yamasaki, Comissao Nacional de Energia Nuclear - Sp. 1992.
- 5.- Aplicaciones Nucelares para la Salud, Boletin laea Vol. 36, N° 4, 1994.
- 6.- Costo Of Process Equipment. J.f. Kuong. 1962.
- 7.- Current Cost Of Process Equipment. Richard S. Hall, Jay Matley And Kenneth Mcnaughton. Chemical Engineering. April 5, 1982.
- 8.- Energy Electricity And Nuclear Power Estimates Fot The Period Up To 2015. laea, July 1994 Edition.
- 9.- Gamma Radiography, Amersham Corporation, Usa.
- 10.- Informacion del Centro Nuclear:
 - A) Peo1-41-99-0204-0029min-0a-00 (Manual de Pta. En Marcha, Sistema Primario.
 - B) Peo1-41-99-0301-007-mh-oc-00 (Manual de Pta. En Marcha Sistema Secundario).
 - C) Peo1-41-99-0301-0078-dpi (desde el 0301 al 0306) Planos Isométricos del Sist. Secundario.
 - D) Peo1-41-99-0302-0092-mh-oc (Manual de Operación Y Mantenimiento de las Torres de Enfriamiento Sulzer).

E) Peo1-06-99-0300-0002-pa-oo (Diagrama de Flujo) (Sist. Secundario).

- 11.- Ion Exchange Resins. Robert J. Kunin And Robert J. Nyres.
- 12.- Manual de Bombas Centrifugas. Hidrostral S.a.
- 13.- Manual de Calculos de Ingenieria Quimica, Chopey-hicks, 1986.
- 14.- Manual de Diseño de Equipos de Intercambio Iónico S. Applebaum.
- 15.- Manual de Tratamientos de Aguas. Cla Nalco.
- 16.- Manual del Agua, Su Naturaleza, Tratamiento Y Aplicaciones, Nalco, 1979.
- 17.- Manual del Ingeniero Químico. John Perry.
- 18.- Manual Of Treatment Water. The Permutit Company.
- 19.- Manual Of Water Quality And Treatment. American Water Work Association. 1971.
- 20.- Manual Of Ionac Ion Exchange Resins. Sybron Corporation Ionac.
- 21.- Manual On Gamma Radiography, laea, February, 1992 Edltion.
- 22.- Manual On Nuclear Gauges, laea, February, 1992 Edltion.
- 23.- Manual On Shielded Enclosures, laea, February, 1992 Edition.
- 24.- Manual On High Energy Teletherapy, laea, February, 1992 Edition.
- 25.- Manual On Brachytherapy, laea, February, 1992 Edition.
- 26.- Manual On Therapeutic Uses Of I-131, laea, February, 1992 Edition.
- 27.- Manual Técnico del Agua. Degremont.
- 28.- Métodos Estandar para el Examen de Aguas Y Aguas de Desechos. American Public Health Association. American Water Works Association. Water Polution Control Federation. 1963.

- 29.- Resinas de Intercambio Iónico Lewatit. Bayer Ind. S.a.
- 30.- Revist_a. Argentina Nuclear (Año 2, N° 16) Dic. 1988 Edit. Nueva Ciencia Arg.
- 31.- Tratamiento de Aguas. Universidad de Sao Paulo. Facultad de Higiene E Saude Publica. Organica Mundial de Saude. Organica Panamericana de Saude. 1978.
- 32.- Treating Oil Field Emulsions, Third Edition, Dalvas, Texas, 1994
- 33.- Unit Utility Requeriment - 1. W.I. Nelson. The Oil Gas And Journal. Jun. 14, 1976.
- 34.- Water Conditioning Manual. The Dow Chemical Company (Dowex Ion Exchange Resins. 1981).
- 35.- Water Treatment For Industrial And Other Uses. Eskel Nordell.
- 36.- Water Treatment Plant Desing. American Water Works Association. 1971.