



Proyecto Fin de Carrera Ingeniería química

Estudio y optimización de la planta de tratamiento
de aguas de la central térmica Teruel

Autor

Marcos Galve Guillén

Director y ponente

José Alfredo Tomás Tello
M^a Peña Ormad Melero

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Departamento de Ingeniería y Medio ambiente.
Septiembre 2013

ANEXO I. DUREZA Y ALCALINIDAD DEL AGUA	5
i. Dureza del agua.....	7
ii. Cálculo de la dureza total y cárlica del agua.....	8
a. Cálculo de la dureza total	8
b. Cálculo de la dureza cárlica.....	9
iii. Alcalinidad del agua	10
iv. Cálculo de la alcalinidad del agua	11
ANEXO II. ÍNDICE DE LANGUELIER.....	13
i. Índice de Langelier	15
c. Método gráfico	16
d. Método numérico	17
ii. Ejemplo de cálculo de índices de saturación	19
iii. Datos de evolución del poder incrustante del agua de abastecimiento con la temperatura en 2008	20
ANEXO III.EL CICLO DEL AGUA EN LA CENTRAL TÉRMICA DE ANDORRA	29
i. INTRODUCCIÓN	31
ii. CAPTACIÓN	32
iii. PRETRATAMIENTO.....	32
a. Ideas de los procesos de: coagulación, sedimentación y ablandamiento.....	33
b. Etapas del pretratamiento.....	33
iv. DESMINERALIZACIÓN PRIMARIA	40
a. Principios elementales y generalidades	40
b. Elementos básicos de cada intercambiador.....	43

c.	Regeneración cadena primaria	43
d.	Parámetro de control	44
v.	DESMINERALIZACIÓN SECUNDARIA	45
	Principios elementales y generalidades	45
a.	Elementos básicos de un ionexer	46
b.	Regeneración de los ionexers.....	46
c.	Parámetros de control y producción.-	47
vi.	BALSA NEUTRALIZACIÓN	47
a.	Operación de la instalación	48
vii.	AGUA DESMINERALIZADA.....	48
ANEXO IV. MEDIDA DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN		49
ANEXO V. RESULTADO EXPERIMENTALES		53
i.	Análisis del agua de aporte al decantador y agua de salida del mismo	56
ii.	Proceso de ablandamiento con sosa	57
iii.	Proceso de ablandamiento con cal.....	59
iv.	Proceso de ablandamiento con cal + carbonato sódico	60

**ANEXO I. DUREZA Y ALCALINIDAD DEL
AGUA**

Anexo I

ANEXO I. DUREZA Y ALCALINIDAD DEL AGUA

i. Dureza del agua

La cantidad de dureza presente en las aguas naturales varía ampliamente en el mundo, y depende de las formaciones geológicas tanto superficiales como subterráneas con las que entra en contacto el agua.

La dureza se debe a la presencia de sales de calcio y magnesio: Bicarbonatos, carbonatos, sulfatos cloruros y nitratos. También causan dureza en el agua el hierro, aluminio y manganeso, pero estas substancias no se encuentran presentes ordinariamente en cantidades apreciables. Los carbonatos normales se encuentran, solo normalmente, en aguas sumamente alcalinas. Los nitratos se hallan presentes usualmente en pequeñas cantidades y, en promedio, los sulfatos exceden a los cloruros. Existen por supuesto, muchos abastecimientos de agua en los que estas generalizaciones no se aplican.

En el pasado, ha sido costumbre clasificar la dureza como temporal o permanente, ambas comúnmente presentes, aunque en ocasiones no lo están. Son preferibles los términos "dureza de carbonatos" y de "no carbonatos" los cuales son más precisos en su descripción. Las aguas que contienen dureza temporal o de carbonatos sufren ablandamiento parcial al hervirlas, mientras que la dureza permanente no se reduce por esta acción.

La razón de este comportamiento es obvia al considerar la composición química de los dos tipos de dureza. Aun cuando el carbonato de calcio (piedra caliza) es solo ligeramente soluble, se disuelve en ácido carbónico para formar bicarbonato de calcio:



El bióxido de carbono que se combina con el carbonato de calcio para forma bicarbonato de calcio, a menudo se describe como "parcialmente ligado". El calor invierte la reacción al desprender el bióxido de carbono parcialmente ligado, reproduciéndose así el carbonato normal de calcio y el agua se ablanda por la precipitación de este compuesto.

La dureza de los no-carbonatos es debida a los sulfatos o cloruros de calcio que permanecen en solución cuando el agua se calienta, y deben ser convertidos en carbonatos por medio del carbonato de sodio para poder ser eliminados. Por ejemplo,



Los requerimientos de productos químicos y los resultados de la suavización difieren respecto a las durezas de carbonatos y de no-carbonatos así como también en cuanto a las durezas de calcio y magnesio.

Ambas bases de la clasificación, deben, por tanto ser usadas para interpretar el análisis del agua y calcular los resultados del tratamiento.

Estas se muestran en la tabla 20. [She79].

Tabla 1: Tipos de dureza

Clasificación	Dureza de carbonatos	Dureza de no-carbonatos
dureza de calcio	Bicarbonato cálcico	Sulfato cálcico
	Carbonato cálcico	Cloruro cálcico
dureza de magnesio	Bicarbonato de magnesio	Sulfato de magnesio
	Carbonato de magnesio	Cloruro de magnesio

ii. Cálculo de la dureza total y cálcica del agua

a. Cálculo de la dureza total

Método normalizado

La determinación de dureza total se realiza por el método SM 2340 C.

Principio del método

La sal disódica del ácido etilendianmino-tetracético (abreviadamente EDTA), forma complejos quelatos con los cationes de calcio y magnesio presentes en una solución acuosa. Si se pequeñas cantidades del indicador negro de eriocromo T a la solución anterior a un pH de 10,0 la solución vira al color rojo vino. Cuando todo el calcio y magnesio forman complejos quelatos con el EDTA adicionando, la solución vira al color azul, indicando el punto final de la valoración.

Procedimiento experimental

- Tomar un volumen de muestra en la que se necesite meno de 15 ml de solución de EDTA 0,01 M y se complete la valoración en 5 minutos después de la adición de la solución tampón.
- Diluir el volumen de muestra anterior a partir de agua destilada hasta un volumen de 50 ml.
- Añadir 1 o 2 ml de solución tampón para alcanzar el pH de 10,0 a 10,1.
- Añadir 1 o 2 gotas de la solución indicador negro de eriocromo T.
- Valorar la muestra con solución de EDTA 0,01 M hasta que el tono rojizo desaparece de la solución. El punto final de la valoración finaliza cuando la solución es de color azul.

Calculo de la dureza total a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Dureza (mg/l de CaCO}_3) = \frac{A*1000*1}{mL \text{ muestra}}$$

dónde: A = mL consumidos solución EDTA 0,01 M valoración de la muestra (1 mg CaCO₃ equivale a 1 mL solución EDTA 0,01M).

Reactivos

La preparación de los reactivos necesarios se indica a continuación:

- Solución tampón: disolver 1,179 g de EDTA y 644 mg de cloruro de magnesio hexahidratado (MgCl₂·6H₂O) en 50 mL de agua destilada. Añadir a esta solución 16,9 g de cloruro de amonio (NH₄Cl) y 143 mL de hidróxido de amonio concentrado (NH₄OH) y diluir a 250 mL con agua destilada.

b. Cálculo de la dureza cárquica

Método normalizado

La determinación de calcio se realiza por el método SM 3550-Ca B.

Principio del método

En la titulación, el EDTA reacciona primero con los cationes de calcio libre y después con los cationes de calcio combinados con el indicador que vira del color rosa al color morado. El magnesio precipita como hidróxido de magnesio y no interfiere en

la determinación. Se requiere un ajuste de la solución acuosa a valorar a un pH de 12,0-13,0.

Procedimiento experimental

- Tomar un volumen de muestra en la que se necesite meno de 15 ml de solución de EDTA 0,01 M y se complete la valoración en 5 minutos después de la adición de la solución de NaOH 1 N.
- Diluir el volumen de muestra anterior a partir de agua destilada hasta un volumen de 50 ml.
- Añadir 1 o 2 ml de solución de NaOH 1 N para alcanzar el pH de 12,0 a 13,0.
- Añadir 1 o 2 gotas de la solución indicador murexida.
- Valorar la muestra con solución de EDTA 0,01 M hasta que el tono rojizo desaparece de la solución. El punto final de la valoración finaliza cuando la solución es de color morado.

Calculo de la concentración de calcio a partir de la siguiente expresión:

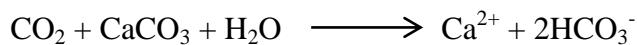
$$\text{Calcio (mg/l de CaCO}_3) = \frac{A*1000*1}{mL \text{ muestra}}$$

dónde: A = mL consumidos solución EDTA 0,01 M valoración de la muestra (1 mg CaCO₃ equivale a 1 mL solución EDTA 0,01M).

iii. Alcalinidad del agua

La alcalinidad del agua es la medida de su capacidad para neutralizar ácidos. También se utiliza el término capacidad de neutralización de ácidos (CNA), y representa la suma de las bases que pueden ser valoradas. Esta alcalinidad de las aguas naturales se debe principalmente a las sales de ácidos débiles, aunque las bases débiles o fuertes también puede contribuir.

Los bicarbonatos son los compuestos que más contribuyen a la alcalinidad, puesto que se forman en cantidades considerables por la acción del CO₂ sobre la materia básica del suelo como podemos ver en la reacción:

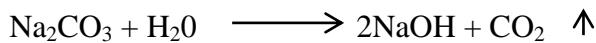


Es deseable tener alguna alcalinidad en el agua de la caldera, así que rara vez se lleva a cabo una remoción completa de la alcalinidad del remplazo de la caldera, excepto en la desmineralización. También se necesita cierta alcalinidad para dar el pH óptimo en el agua de alimentación a fin de prevenir la corrosión de la tubería y equipo.

Cuando los carbonatos y bicarbonatos se exponen a las temperaturas de la caldera, se rompen liberando CO₂:



Después, el carbonato de sodio se rompe aún más hasta caustico:



El gas dióxido de carbono se redisuelve cuando el vapor se condensa, y produce ácido carbónico corrosivo:



La cantidad de CO₂ generado es proporcional a la alcalinidad. Para una alcalinidad dada se forma el doble de CO₂ tanto a partir del HCO₃⁻ como del CO₃²⁻ porque la descomposición del bicarbonato es la suma de las dos reacciones anteriores. Entonces es deseable reducir la alcalinidad del agua de alimentación, para que la formación de CO₂ sea mínima, y reducir así los costos de tratamiento químico. [Web04].

iv. Cálculo de la alcalinidad del agua

Equipo

Fotómetro multiparamétrico HI83099

Especificaciones

Rango: 0 a 500 mg/l (como CaCO₃)

Resolución: 5 mg/l

Reactivos necesarios

Código: HI 93755-0

Descripción: Reactivo Indicador de Alcalinidad

Cantidad/Test: 1 Botella

Procedimiento de Medición

- Seleccione el método Alcalinidad usando el procedimiento descrito en la sección Selección del Método.
- Llene la cubeta con 10 ml de muestra sin tratar (hasta la marca) y ponga la tapa.
- Introduzca la cubeta en la célula de medición y cierre la tapa.
- Pulse la tecla ZERO. El display mostrará “-0,0” cuando el instrumento esté a cero y listo para medición.
- Retira la cubeta.
- La presencia de cloro en la muestra puede interferir en los resultados, para eliminar el cloro, añada previamente 1 gota del reactivo HI 93755-53 a la muestra.
- Añada cuidadosamente 1 ml del reactivo HI 93755-0 Reactivo Indicador de Alcalinidad, salvo para muestras con contenido inferior a 75ppm de alcalinidad que deberá añadir 0.7 ml en lugar de 1 ml. Ponga la tapa e invierta el vial 5 veces.
- Introduzca la cubeta en la célula de medición y cierre la tapa.
- Pulse READ, el medidor realizará la lectura.
- El instrumento muestra los resultados en mg/l de alcalinidad (CaCO_3).

ANEXO II. ÍNDICE DE LANGUELIER

Anexo II

ANEXO II. INDICE DE LANGEIER

i. Índice de Langelier

El índice de saturación de Langelier (LSI) constituye un indicador del grado de saturación del agua con respecto al carbonato de calcio. Se trata, básicamente, de un índice de equilibrio que proporciona información acerca de la fuerza impulsora para formación y aglomeración de incrustaciones de CaCO_3 , en términos de pH como variable principal. Sin embargo, su principal limitación es que no facilita ninguna indicación referente a la cantidad de CaCO_3 que precipitará para llevar el agua al estado de equilibrio.

El índice de Langelier se calcula como la diferencia entre el pH real, medido, del agua y el pH de saturación de ésta en calcita, según indica la siguiente ecuación.

$$LSI = pH - pH_s \quad [5]$$

De esta forma, si el LSI es negativo, no existirá en el agua potencial de formación de incrustaciones y se disolverá CaCO_3 , tratándose de aguas corrosivas. Valores de LSI positivos revelarán, sin embargo, que se trata de aguas incrustantes con elevada probabilidad de formar depósitos de CaCO_3 . Finalmente, si LSI es próximo a cero, el agua se encontraría inicialmente en equilibrio, aunque cualquier modificación en su calidad o en parámetros como la temperatura podría variar el calor del índice, favoreciendo los fenómenos de corrosión o la deposición de incrustaciones (Dégremont, 1989).

Aunque el valor de LSI podría obtenerse calculando el pH_s de la siguiente ecuación:

$$\text{pH}_s = \text{pK}_2^R - \text{pK}_s^R + \text{p}[\text{Ca}^{2+}] + \text{p}[\text{HCO}_3^-] \quad [6]$$

obtenida a partir del equilibrio calcio-carbónico, el cálculo de esta expresión es complicado ya que incluye parámetros como la concentración de todos los iones disueltos en el agua.

Por este motivo, el índice LSI que contempla la influencia del contenido en sales disueltas del agua observada en las constantes de disociación de H_2CO_3 y en la solubilidad del CaCO_3 a diferentes temperaturas [Kem89], se calcula de acuerdo al

método desarrollado por Langelier, considerando las siguientes variables para la determinación del pH de saturación.

- Alcalinidad, prácticamente sólo como HCO_3^- , expresada en mg de CaCO_3/l
- Dureza de las sales de Calcio, en mg CaCO_3/l
- Sólidos disueltos totales, en mg/l
- Temperatura del agua

Este método de cálculo del pH_s y en consecuencia, del índice de Langelier puede desarrollarse de forma gráfica o numérica, según los modelos que se explican a continuación.

c. Método gráfico

En la metodología gráfica para la determinación del índice de saturación de Langelier, el pH de equilibrio o saturación se expresa según la siguiente ecuación.

$$\text{pH}_s = C + \text{pCa} + \text{pAlc} \quad [7]$$

donde pCa y pAlc corresponden, respectivamente, al $-\log$ de las concentraciones de iones Ca^{2+} e iones HCO_3^- , y C es una constante que recoge la dependencia de las constantes termodinámicas de las reacciones de disociación del ácido carbónico y de precipitación del carbonato de calcio con respecto a la temperatura y la concentración de sólidos disueltos totales (SDT).

En la expresión anterior se asume, por tanto, que la alcalinidad se debe principalmente a los iones bicarbonato presentes en el agua, pues las concentraciones de iones CO_3^{2-} y OH^- se consideran, en principio, despreciables.

El diagrama establecido por Langelier, representado en la figura 16 al final de este Anexo, permite obtener el valor de C para una determinada temperatura y concentración de SDT, en mg/L. Asimismo, proporciona los valores de pCa y pAlc correspondientes a unas concentraciones dadas de iones calcio e iones bicarbonato, ambas expresadas en mg CaCO_3/l . Con todo ello, es posible calcular el pH de saturación finalmente, el índice de Langelier y comprobar si las aguas tienen tendencia a la corrosión o a la formación de incrustaciones (Dégremont, 1989).

d. Método numérico

Este método de determinación del pH de saturación ha sido desarrollado a partir de ecuaciones de equilibrio calcio-carbónico, al igual que el gráfico de Langelier, de forma que el proceso de cálculo es bastante similar. El pH de equilibrio, en este caso, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad [8]$$

en la que A, B, C y D son parámetros que representan la influencia en el valor del pH_s de las sales disuelta, la temperatura del agua, la dureza de calcio y la alcalinidad, respectivamente.

Las siguientes ecuaciones permiten obtener el valor de estas variables.

$$A = (\log [DST(\text{mg/l})] - 1) / 10$$

$$B = -13,12 \times \log (T(\text{°C}) + 273) + 34,55$$

$$C = \log [Ca^{2+} (\text{mg CaCO}_3/\text{l})]$$

$$D = \log [HCO_3^- (\text{mg CaCO}_3/\text{l})]$$

Cuando no se dispone de datos de concentración de sólidos disueltos totales, el valor de este parámetro puede estimarse a partir de datos de conductividad específica, CE. La conductividad es una medida de la concentración de sales disueltas en el agua, que a su vez corresponde a los sólidos solubles o residuo seco. De este modo, el valor de SDT se calcula en mg/l empleando la siguiente ecuación [centro canario del agua].

$$[SDT] = CE(\mu\text{s/cm}) * 0.64 \quad [9]$$

Por último, una vez conocido el pH_s e introduciendo el valor de pH medido en las aguas en la ecuación 9, podrá determinarse si éstas presentan o no un elevado poder incrustante, según el criterio establecido. [Dre89].

- $LSI > 0 \rightarrow$ Agua sobresaturada con respecto a la calcita \rightarrow Incrustante
- $LSI < 0 \rightarrow$ Agua subsaturada con respecto a la calcita \rightarrow Corrosiva

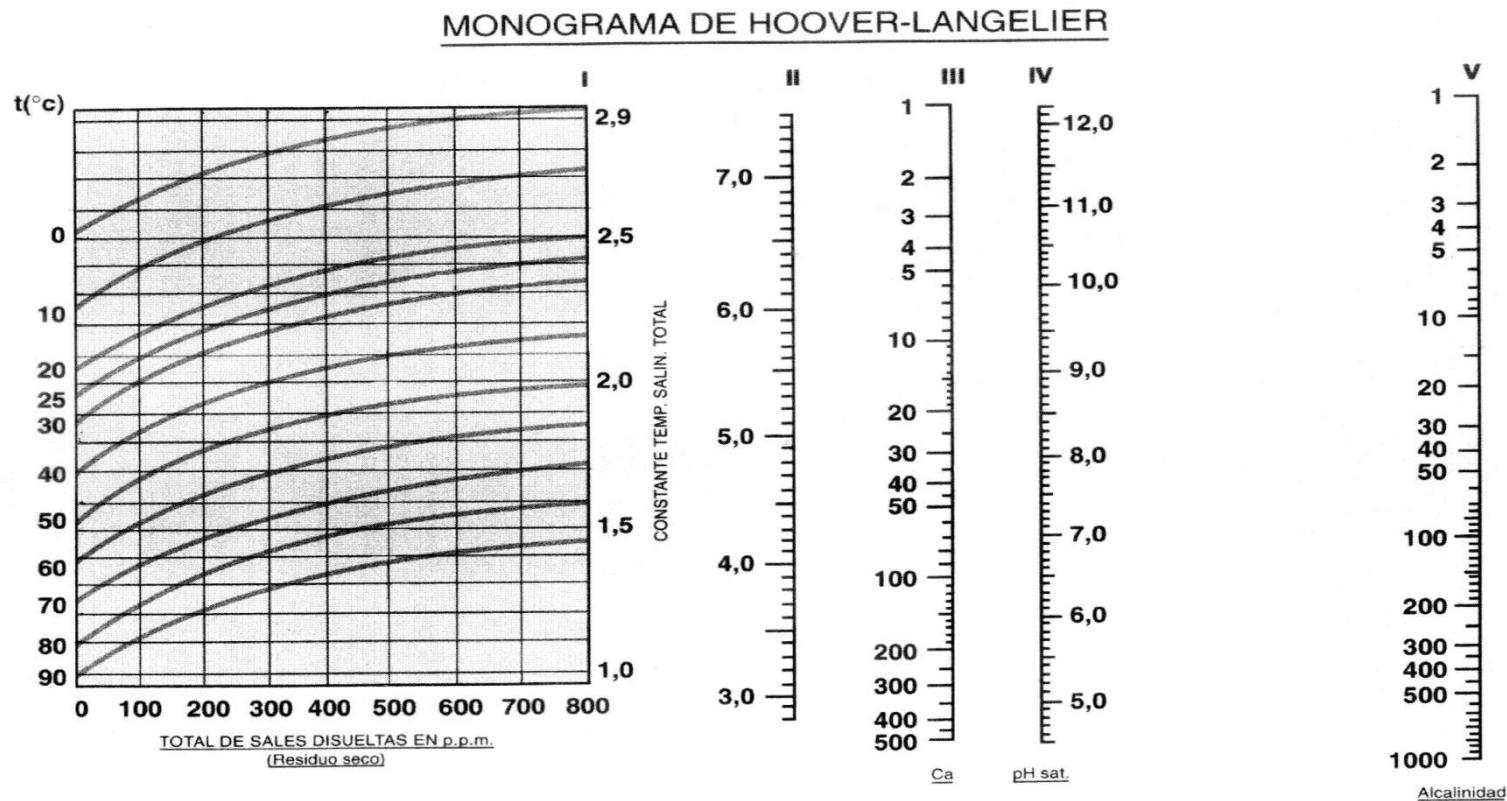


Figura 1: Diagrama de Langelier

ii. Ejemplo de cálculo de índices de saturación

Los índices de medida del poder incrustante de las aguas más utilizados en la actualidad, son el índice de Langelier, el de Ryznar y el de standard Methods. En este apartado se explica el cálculo detallado del índice de Langelier, por ser uno de los más representativos, para una muestra del agua de aporte a la central térmica de Andorra, en marzo del año 2008.

Como se ha definido en el apartado I.1 de este anexo, el índice de Langelier es la diferencia entre el pH real del agua y el pH correspondiente a la saturación en CaCO_3 . El pH_s puede obtenerse gráfica o numéricamente, aunque ambos métodos se fundamentan en el equilibrio calcio-carbónico, por ello solo se explica el método numérico.

Los parámetros analíticos necesarios para determinar LSI en la fecha considerada se obtienen a partir de datos analíticos de calidad de aguas y son los siguientes.

- $T = 16.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $CE = 650$
- $\text{pH} = 8.00$
- $[\text{Ca}^{2+}] = 260 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$
- $[\text{HCO}_3^-] = 130 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$

En el método numérico se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\text{pH}_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

en la que los factores A, B, C y D corresponden a las siguientes expresiones:

$$A = (\text{Log} [\text{DST}(\text{mg/l})] - 1)/10$$

$$B = -13,12 \times \text{Log} (T(\text{°C}) + 273) + 34,55$$

$$C = \text{Log} [\text{Ca}^{2+} (\text{mg CaCO}_3/\text{l})]$$

$$D = \text{Log} [\text{HCO}_3^- (\text{mg CaCO}_3/\text{l})]$$

Para poder estimar estos parámetros a partir de los datos disponibles, será necesario estimar la concentración de sólidos disueltos totales con la siguiente ecuación:

$$[\text{SDT}] = \text{CE}(\mu\text{s/cm}) * 0.64$$

Por tanto se tiene:

$$[SDT] = 410$$

$$A = 0.16$$

$$B = 2.26$$

$$C = 2.41$$

$$D = 2.11$$

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D) = 7.19$$

Finalmente, el índice de Langelier se determina considerando el pH real del agua y el obtenido para el agua de aporte a la central térmica de Andorra es

$$LSI = 8.00 - 7.19 = 0.81$$

iii. Datos de evolución del poder incrustante del agua de abastecimiento con la temperatura en 2008

En este apartado se presentan los datos de evolución del índice de Langelier durante el año 2008, calculados mediante el método numérico según lo explicado en el apartado anterior. Los datos analíticos de caracterización del agua necesarios para realizar los cálculos se incluyen, junto con el resultado en la tabla 21.

Tabla 2: Datos analíticos de caracterización de agua de aporte del año 2008 y resultados

FECHA 2008	dureza total (mg/l de CaCO ₃)	dureza cárlica (mg/l de CaCO ₃)	bicarbonatos (mg/l de CaCO ₃)	CL (mg/l de CaCO ₃)	SO ₄ (mg/l de CaCO ₃)	PH	CONDUC (μs/cm)	SDT (mg/l)	T (°C)	A	B	C	D	pHs	ILS
2-ene	390	290	130	31	219	8,20	635	406	7,5	0,16	2,43	2,46	2,11	7,32	0,88
4-ene		260				8,10	637	408							
7-ene		260				8,10	625	400							
9-ene		270				8,10	630	403							
11-ene		270				8,10	640	410							
14-ene		270				8,30	640	410							
17-ene	370	260	125	29	216	8,30	630	403	7,6	0,16	2,43	2,41	2,10	7,38	0,92
21-ene		260				8,00	640	410							
25-ene		260				8,00	660	422							
28-ene		260				8,00	650	416							
30-ene	360	260	145	29	216	8,00	625	400	8,0	0,16	2,42	2,41	2,16	7,31	0,69
1-feb	370	260	135	25	225	8,00	630	403	8,0	0,16	2,42	2,41	2,13	7,34	0,66
4-feb		260				8,00	630	403							
6-feb		270	140			8,00	630	403	8,2	0,16	2,42	2,43	2,15	7,30	0,70
8-feb		270				8,00	630	403							
11-feb		270				8,00	625	400							
13-feb		270				8,10	629	403							
15-feb		270				8,00	630	403							
18-feb		270				8,10	630	403							
20-feb	380	270	140	22	228	8,00	640	410	11,0	0,16	2,36	2,43	2,15	7,25	0,75
22-feb		270				8,10	650	416							

Anexo II

FECHA 2008	dureza total (mg/l de CaCO_3)	dureza cárlica (mg/l de CaCO_3)	bicarbonatos (mg/l de CaCO_3)	CL (mg/l de CaCO_3)	SO_4 (mg/l de CaCO_3)	PH	CONDUC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	SDT (mg/l)	T ($^{\circ}\text{C}$)	A	B	C	D	pHs	ILS
26-feb		270				8,10	640	410							
3-mar		250				8,00	640	410							
5-mar	370	250	130	21	219	8,00	640	410	16,1	0,16	2,26	2,40	2,11	7,21	0,79
7-mar		260				8,00	650	416							
10-mar		260				8,00	650	416							
12-mar		250				8,00	630	403							
14-mar		260				8,00	650	416							
17-mar		260				8,00	645	413							
19-mar	350	260	130	19	216	8,00	650	416	16,1	0,16	2,26	2,41	2,11	7,19	0,81
24-mar		250				8,00	650	416							
28-mar		260				8,10	650	416							
31-mar		260				8,10	654	419							
3-abr		260				8,10	630	403							
4-abr		250				8,10	630	403							
7-abr	350	260	130	20	210	8,10	640	410	17,0	0,16	2,24	2,41	2,11	7,18	0,92
9-abr		260	110			8,10	630	403	17,2	0,16	2,24	2,41	2,04	7,24	0,86
11-abr		260				8,10	640	410							
14-abr		250				8,10	650	416							
17-abr	350	250	110	20	220	8,10	650	416	17,2	0,16	2,24	2,40	2,04	7,26	0,84
21-abr		250				8,10	640	410							
24-abr	340	250	125	20	210	8,10	650	416	17,2	0,16	2,24	2,40	2,10	7,21	0,89
2-may		250				8,10	640	410							
5-may		240				8,10	650	416							
7-may	340	260	125	70	240	8,10	670	429	17,9	0,16	2,23	2,41	2,10	7,18	0,92

Anexo II

FECHA 2008	dureza total (mg/l de CaCO_3)	dureza cárlica (mg/l de CaCO_3)	bicarbonatos (mg/l de CaCO_3)	CL (mg/l de CaCO_3)	SO_4 (mg/l de CaCO_3)	PH	CONDUC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	SDT (mg/l)	T ($^{\circ}\text{C}$)	A	B	C	D	pHs	ILS
8-may		250				8,20	630	403							
9-may		260				7,80	695	445							
12-may		260				8,10	670	429							
15-may		260	155			7,90	670	429	18,4	0,16	2,22	2,41	2,19	7,07	0,83
16-may	350	260	125	25	200	7,90	680	435	18,4	0,16	2,22	2,41	2,10	7,17	0,73
21-may		250	150			7,70	675	432	18,4	0,16	2,22	2,40	2,18	7,11	0,59
27-may		250				8,20	630	403							
30-may	360	260	115	20	235	8,10	630	403	18,4	0,16	2,22	2,41	2,06	7,20	0,90
2-jun		250	130	65	265	7,80	679	435	18,4	0,16	2,22	2,40	2,11	7,17	0,63
6-jun	330	250	130	70	220	7,90	650	416	18,4	0,16	2,22	2,40	2,11	7,17	0,73
10-jun	330	240	125	70	210	7,90	640	410	18,4	0,16	2,22	2,38	2,10	7,20	0,70
13-jun	340	250	130	70	210	8,20	670	429	18,4	0,16	2,22	2,40	2,11	7,17	1,03
17-jun	330	240	125	70	240	8,20	670	429	18,4	0,16	2,22	2,38	2,10	7,20	1,00
23-jun	340	250	130	28	207	8,00	660	422	18,4	0,16	2,22	2,40	2,11	7,17	0,83
25-jun		250				8,00	650	416							
27-jun	340	250	130	25	205	8,10	640	410	20,0	0,16	2,18	2,40	2,11	7,13	0,97
7-jul	340	250	125	55		7,90	685	438	20,0	0,16	2,18	2,40	2,10	7,15	0,75
9-jul		250				7,90	685	438							
10-jul		250				7,90	690	442							
11-jul	340	250	125	50	260	7,80	690	442	20,2	0,16	2,18	2,40	2,10	7,15	0,65
14-jul		250				7,90	680	435							
16-jul		250				7,80	685	438							
21-jul	330	250	130	55	265	7,80	690	442	21,3	0,16	2,16	2,40	2,11	7,11	0,69
28-jul	340	250	125	60	265	7,90	680	435	21,3	0,16	2,16	2,40	2,10	7,13	0,77

Anexo II

FECHA 2008	dureza total (mg/l de CaCO_3)	dureza cárlica (mg/l de CaCO_3)	bicarbonatos (mg/l de CaCO_3)	CL (mg/l de CaCO_3)	SO_4 (mg/l de CaCO_3)	PH	CONDUC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	SDT (mg/l)	T ($^{\circ}\text{C}$)	A	B	C	D	pHs	ILS
1-ago	340	250	120	55	265	8,20	690	442	21,3	0,16	2,16	2,40	2,08	7,15	1,05
6-ago	340	250	120	50	265	8,10	670	429	21,3	0,16	2,16	2,40	2,08	7,15	0,95
7-ago						8,10					2,59				
8-ago	340	250	125	45	265	7,80	680	435	21,5	0,16	2,16	2,40	2,10	7,12	0,68
9-ago						7,80									
10-ago						7,80									
11-ago						7,90									
12-ago	340	250	120	40	275	7,90	680	435	22,0	0,16	2,15	2,40	2,08	7,13	0,77
14-ago	340	250	135	40	290	7,80	680	435	22,0	0,16	2,15	2,40	2,13	7,08	0,72
16-ago						7,90									
18-ago	340	250	125	40	265	7,90	680	435	22,0	0,16	2,15	2,40	2,10	7,11	0,79
21-ago						7,80									
22-ago	340	250	130	45		7,80	690	442	22,1	0,16	2,14	2,40	2,11	7,10	0,70
25-ago	330	250	125	45	265	7,80	680	435	22,1	0,16	2,14	2,40	2,10	7,11	0,69
28-ago						7,80									
29-ago	340	250	130	55	265	7,90	680	435	22,2	0,16	2,14	2,40	2,11	7,09	0,81
1-sep	350	250	130	50	265	7,91	680	435	22,2	0,16	2,14	2,40	2,11	7,09	0,82
4-sep	350	250	125	45	275	7,94	685	438	22,0	0,16	2,15	2,40	2,10	7,12	0,82
5-sep		250				7,95	690	442							
8-sep	350	250	130	45	265	7,98	688	440	23,0	0,16	2,13	2,40	2,11	7,08	0,90
10-sep		250				7,97	690	442							
12-sep	350	250	125	40	265	7,98	687	440	23,0	0,16	2,13	2,40	2,10	7,10	0,88
15-sep	340	250	130	35	265	7,98	691	442	23,0	0,16	2,13	2,40	2,11	7,08	0,90
16-sep		280	130			7,30	690	442							

Anexo II

FECHA 2008	dureza total (mg/l de CaCO_3)	dureza cárlica (mg/l de CaCO_3)	bicarbonatos (mg/l de CaCO_3)	CL (mg/l de CaCO_3)	SO_4 (mg/l de CaCO_3)	PH	CONDUC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	SDT (mg/l)	T ($^{\circ}\text{C}$)	A	B	C	D	pHs	ILS
17-sep		270				7,95	705	451							
19-sep	340	260	125	45	215	7,98	695	445	23,0	0,16	2,13	2,41	2,10	7,08	0,90
23-sep	340	260	125	45	265	7,98	690	442	23,0	0,16	2,13	2,41	2,10	7,08	0,90
25-sep		250				7,95	683	437			2,59				
26-sep	340	260	125	50	255	7,98	685	438	23,0	0,16	2,13	2,41	2,10	7,08	0,90
29-sep	330	250				7,95	690	442							
1-oct	360	280	130	35	285	7,80	714	457	23,0	0,17	2,13	2,45	2,11	7,03	0,77
3-oct	350	265	130	40	270	7,95	700	448	23,0	0,17	2,13	2,42	2,11	7,05	0,90
8-oct	370	280	125	45	265	7,90	710	454	22,5	0,17	2,14	2,45	2,10	7,06	0,84
10-oct	360	280	130	45	245	7,90	710	454	22,5	0,17	2,14	2,45	2,11	7,04	0,86
12-oct		240				8,10	680	435							
13-oct	320	240	130	40	275	8,10	690	442	18,6	0,16	2,21	2,38	2,11	7,18	0,92
17-oct		240				8,00	685	438							
20-oct		270				8,10	695	445							
23-oct		240				7,80	680	435							
24-oct	330	240	125	35	275	7,90	687	440	17,5	0,16	2,23	2,38	2,10	7,22	0,68
28-oct	330	270	130	40	275	7,99	690	442	17,3	0,16	2,24	2,43	2,11	7,16	0,83
29-oct	450	320	125	25	325	8,16	718	460	17,3	0,17	2,24	2,51	2,10	7,10	1,06
31-oct	340	280	125	45	265	8,15	710	454	17,0	0,17	2,24	2,45	2,10	7,17	0,98
5-nov		260				8,10	590	378							
10-nov		250				8,10	590	378							
12-nov	350	260	130	25	215	8,20	610	390	14,0	0,16	2,30	2,41	2,11	7,23	0,97
14-nov		260				8,20	590	378							
17-nov		260				8,20	660	422			2,59				

Anexo II

FECHA 2008	dureza total (mg/l de CaCO ₃)	dureza cárlica (mg/l de CaCO ₃)	bicarbonatos (mg/l de CaCO ₃)	CL (mg/l de CaCO ₃)	SO ₄ (mg/l de CaCO ₃)	PH	CONDUC (μs/cm)	SDT (mg/l)	T (°C)	A	B	C	D	pHs	ILS
19-nov	350	260	150	30	200	8,30	600	384	14,0	0,16	2,30	2,41	2,18	7,17	1,13
21-nov		260				8,20	610	390							
24-nov		270				8,30	598	383							
26-nov		270				8,00	690	442							
28-nov	350	270	125	30	200	8,00	680	435	13,2	0,16	2,32	2,43	2,10	7,25	0,75
1-dic	330	240	155	30	200	8,10	590	378	13,2	0,16	2,32	2,38	2,19	7,21	0,89
5-dic		230				7,90	640	410							
9-dic		230	155			7,90	640	410	12,0	0,16	2,34	2,36	2,19	7,25	0,65
10-dic	320	230	155	30	195	7,90	590	378	12,0	0,16	2,34	2,36	2,19	7,25	0,65
12-dic		230				8,10	610	390							
16-dic		230	150			7,90	640	410	10,0	0,16	2,38	2,36	2,18	7,31	0,59
17-dic		230				7,90	600	384							
22-dic		230	155			8,20	640	410	8,6	0,16	2,41	2,36	2,19	7,32	0,88
24-dic	330	240	155	30	200	8,10	600	384	8,6	0,16	2,41	2,38	2,19	7,30	0,80
26-dic		230				7,90	640	410							
29-dic		230	150			7,90	640	410	8,4	0,16	2,41	2,36	2,18	7,34	0,56
5-ene	330	240	155	30	210	8,10	590	378	8,2	0,16	2,42	2,38	2,19	7,31	0,79
8-ene		240	155			8,10	590	378	7,9	0,16	2,43	2,38	2,19	7,31	0,79
9-ene		240	155			8,20	600	384	7,9	0,16	2,43	2,38	2,19	7,31	0,89
12-ene	330	240	155	30	205	8,20	595	381	7,7	0,16	2,43	2,38	2,19	7,32	0,88
15-ene		230	150			7,90	640	410	7,6	0,16	2,43	2,36	2,18	7,35	0,55
19-ene		230	150			7,90	640	410	7,6	0,16	2,43	2,36	2,18	7,35	0,55
22-ene		240	155			8,20	595	381	7,6	0,16	2,43	2,38	2,19	7,32	0,88
23-ene		240				8,20	595	381							

Anexo II

28-ene	330	240	155	30	200	8,20	595	381	7,5	0,16	2,43	2,38	2,19	7,32	0,88
	dureza total (mg/l de CaCO_3)	dureza cárlica (mg/l de CaCO_3)	bicarbonatos (mg/l de CaCO_3)	CL (mg/l de CaCO_3)	SO_4 (mg/l de CaCO_3)	PH	CONDUC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	SDT (mg/l)	T ($^{\circ}\text{C}$)	A	B	C	D	pHs	ILS
Promedio	346	254	134	40	241	8,01	653								0,81
Max	450	320	155	70	325	8,30	718								1,13
MIN	320	230	110	19	195	7,30	590								0,55

Se presentan en la figura 17 los resultados del índice de Langelier para los datos de 2008.

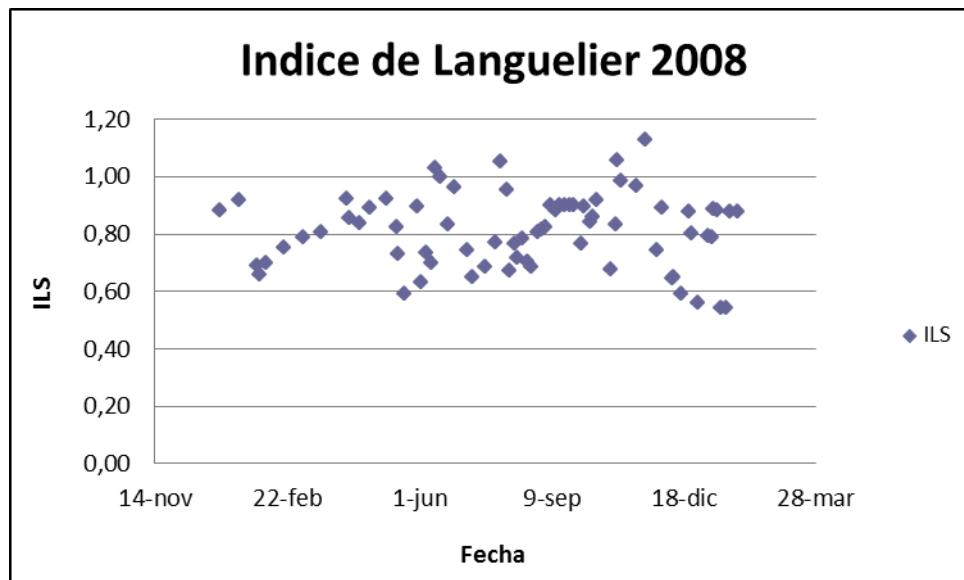


Figura 2: Cálculo índice de Langelier para el año 2008

Como se puede observar en el gráfico, todos los valores calculados del índice de Langelier, se encuentran entre 0,5 y 1,1. Valores de LSI positivos revelan, que se trata de aguas incrustantes con elevada probabilidad de formar depósitos de CaCO_3 . Sin embargo, si LSI es próximo a cero, el agua se encontraría inicialmente en equilibrio.

Como podemos observar, todos los valores del índice de Langelier se encuentran por encima de cero, lo que determina el carácter incrustante de esta agua, pero no son demasiado elevados, están próximos a cero, por lo que se tiene un agua con un carácter ligeramente incrustante.

**ANEXO III. EL CICLO DEL AGUA EN LA CENTRAL TÉRMICA
DE ANDORRA**

ANEXO III. EL CICLO DEL AGUA EN LA CENTRAL TÉRMICA

i. INTRODUCCIÓN

Para conseguir las especificaciones de calidad del agua necesarias para su uso en calderas, es necesario el tratamiento del agua de captación en la planta de tratamiento de aguas.

El agua bruta, procedente del pantano de Calanda, en el río Guadalupe, se bombea a un depósito, desde donde se alimenta por gravedad la planta que se va a describir a continuación.

La planta de tratamiento de agua para la central térmica de Teruel, abastece de agua desmineralizada en cantidad y calidad a los grupos 1, 2, y 3, a los pozos de agua de servicio y a una parte de la planta de desulfuración de gases.

Las condiciones básicas y etapas que forman dicha planta (figura 18) se exponen seguidamente.

El agua bruta, procedente del pantano de Calanda, alimenta la instalación a través de los pasos siguientes:

- El decantador donde se producirá un ablandamiento y descarbonatación del agua a tratar.
- Primer filtrado en los filtros de gravedad donde el agua de salida del decantador es filtrada y almacenada en un depósito de agua filtrada.
- Bombeo de agua filtrada, a través de 4 bombas, impulsando el agua a un segundo filtrado, en los filtros de carbón activo, dando paso a su desmineralización.
- Dicha desmineralización se realizará, en dos pasos:
- Desmineralización primaria, donde pasa el agua a través de una resina catiónica y seguida de una resina aniónica, donde se quedarán la mayoría de las sales.
- Desmineralización secundaria, donde se produce un pulido final de desmineralización.

- Dando paso al almacén de agua desmineralizada y alimentación en cantidad y calidad necesaria para los diferentes servicios.



Figura 3: Esquema de la planta completa

ii. CAPTACIÓN

El agua bruta entra por gravedad a la instalación. Dado que la presión disponible (cota geométrica) no es suficiente para asegurar la correcta alimentación de la planta por gravedad, se ha instalado un bombeo de agua bruta, que incrementa la presión en 20 m.c.a., lo que asegura una presión suficiente para la instrumentación de entrada y los servicios auxiliares.

El caudal de entrada se ajusta automáticamente a la demanda mediante una válvula reguladora, controlada en función del nivel en el depósito de agua filtrada. La válvula reguladora va colocada en la tubería de agua bruta antes del paso por el decantador.

A continuación se dispone de un medidor de caudal, montado en la tubería de agua bruta, que regula la dosificación de reactivos al decantador, purgas, etc.

El agua de dilución de reactivos de toma del agua bruta, ya que no existe turbiedad.

iii. PRETRATAMIENTO

a. Ideas de los procesos de: coagulación, sedimentación y ablandamiento

Coagulación.- La coagulación consiste en introducir en el agua un producto capaz de neutralizar la carga de los coloides, generalmente electronegativos, presentes en el agua, el coagulante utilizado en nuestro decantador accelerator, el más adecuado es una sal de hierro “cloruro férrico “que formara al precipitar un hidróxido de hierro.

Sedimentación.- El precipitado de hierro que se forma, se convierte en más grande y pesado, formando lo que llamaremos “Flóculos “que por supuesto se marcha al fondo, a este fenómeno se le conoce con el nombre de “sedimentación “.

Ablandamiento.- Añadiendo sosa cáustica se sube el pH hasta valores de 10 con lo que los bicarbonatos pasan a carbonatos, precipitando el carbonato cálcico.

b. Etapas del pretratamiento

Decantador accelerator

El decantador – ACCELERATOR (figura 19 y figura 20) es una unidad de tratamiento por contacto de sólidos. Aunque en principio ha sido proyectado para el tratamiento de agua, se puede aplicar para una sorprendente variedad de problemas relativos a tratamiento de líquidos que incluyan la precipitación y eliminación de materiales de sólidos.

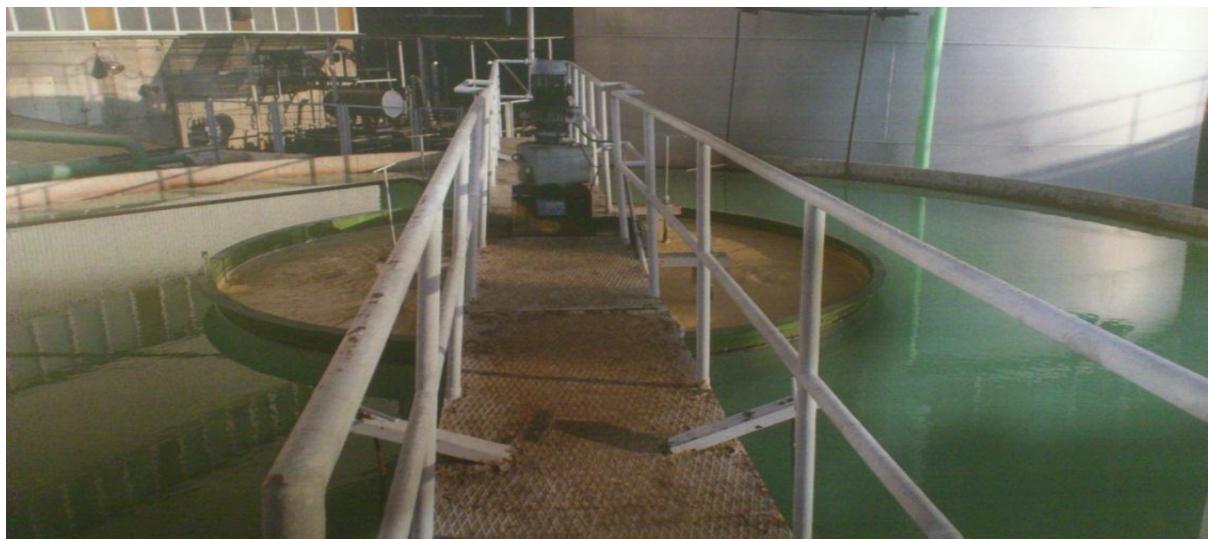


Figura 4: Decantador ACCELERATOR

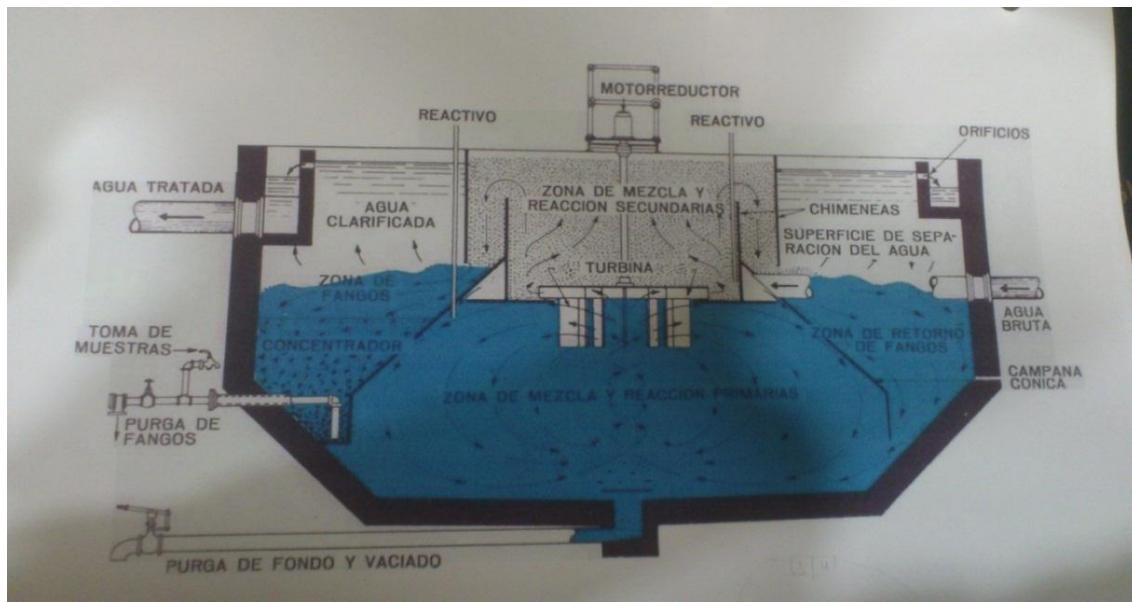


Figura 5: Decantador ACCELERATOR

El tratamiento químico en este decantador se ha previsto de tal forma que se consiga la máxima reducción posible en el contenido de sólidos disueltos, utilizando una descarbonatación y eliminación consiguiente de la dureza temporal y permanente, con sosa cáustica. Como coagulante para mejorar la decantación de los precipitados, se ha previsto cloruro férrico por las ventajas que este reactivo presenta frente a otros de similar utilización, así los valores de turbiedad-hierro, disminuyen con la dosificación de cloruro férrico. Es de destacar la escasa dependencia que la floculación con cloruro férrico presenta con el pH del agua a flocular, mostrándose prácticamente invariable a los cambios de pH.

El decantador se compone de un depósito que comprende:

- Una entrada de agua bruta y un canal de repartición de la misma.
- Una zona de mezcla y reacción primaria, en forma de tronco de cono.
- Dos chimeneas concéntricas que constituyen la zona de mezcla y reacción secundaria
- Una turbina para la mezcla y recirculación de los fangos, accionada por un motor reductor, un sistema de canales de recogida del agua decantada.

El volumen de entrada de agua al accelerator es controlado por la válvula automática que se encuentra antes de entrar a este y se puede observar tanto el caudal

en tiempo real como el total de volumen de agua, este decantador accelerator está diseñado para un caudal máximo de 250 m³/h.

Las características de dicha agua son conocidas exactamente, por lo tanto el diseño del accelerator y de sus sistemas están diseñados de tal forma que se consiga la máxima reducción posible en el contenido de sólidos disuelto, utilizando la descarbonatación y eliminación consiguiente de la dureza temporal.

La primera característica propia del accelerator es que los productos químicos se agregan en las zonas de reacción de forma que la reacción química tiene lugar en presencia de flóculos previamente formado. En estas condiciones la precipitación de las impurezas del agua se lleva a cabo sobre la superficie de partículas recirculadas y el producto recirculante o granulado resultante decanta en condiciones ideales. Queda así prácticamente eliminada la formación de pequeñas partículas (moléculas en el caso de la descarbonatación) individuales.

Desde la zona de reacción primaria el agua bruta mezclada con dos o cuatro veces su volumen de fangos recirculados, pasa a la zona de reacción secundaria, en la que al continuo contacto del agua con los flóculos se consigue el equilibrio en la reacción antes de descargarse a la zona exterior del accelerator, destinada a la separación de los fangos y al agua.

Los flóculos abandonan la zona de reacción secundaria, impulsados hacia la periferia y en movimiento descendente sobre la zona de fangos que forman el ciclo de tratamiento.

El movimiento de los fangos está perfectamente controlado por la forma cónica de la campana y la aspiración creada por la turbina. De ellos se separa el agua en sentido ascendente, a medida que llega un volumen nuevo de agua bruta y un volumen análogo se separa de los fangos.

El agua se recoge en los canales de recogida y los fangos recirculan a la zona de reacción primaria.

Dosificación de reactivos en el decantador

Los reactivos utilizados son: Sosa cáustica al 50 % y cloruro férrico al 40 %.

Se dispone de un tanque de almacenaje de cloruro férrico al 40 % de donde se alimenta, a una cuba diluidora donde se queda diluido hasta el 15 % y de esta cuba, dos bombas dosificadoras alimentaran, al accelerator. Estas bombas, su trabajo normal es, en automático entrando en servicio una cada vez, así como el agitador de esta cuba, que entraran ambas en funcionamiento dependiendo de la consigna que el por el servicio químico ponga.

Se dispone de un tanque de almacenaje de sosa al 50 % de donde se alimentan dos bombas dosificadoras impulsan la sosa a una T de mezcla donde al juntarse con el agua es diluida al 5 %. Estas bombas su trabajo normal es, en automático entrando en servicio una cada vez y su frecuencia de marcha estará en función de la consigna que el servicio químico ponga para el PH de salida del accelerator.

- Se prevé una dosis teórica de 250 gr. de sosa al 50% (densidad de la sosa 1,5 kg/litro) en peso por m³ de agua tratada en el accelerator, aunque en realidad se está utilizando 650 gr. de sosa al 50% por m³ de agua tratada.
- Se ha previsto una dosis teórica de cloruro férrico de 15 gr /m³ rico al 100% en peso, aunque en realidad se estás empleando 63 gr / m³.

Filtros de gravedad

El agua, una vez sale del decantador es conducida a los filtros de gravedad (figura 21), los cuales se componen de una cuba metálica abierta, siendo su funcionamiento a presión atmosférica. El proceso de filtración, es sobre lecho filtrante de: una capa de antracita, debajo de esta, una capa de arena y debajo de esta, 3 capas de grava de distintas granulometrías. La recogida de agua se produce a través de unas toberas, una vez el filtro se ha ensuciado, se podrá limpiar con la misma agua en sentido contrario al de filtrado.

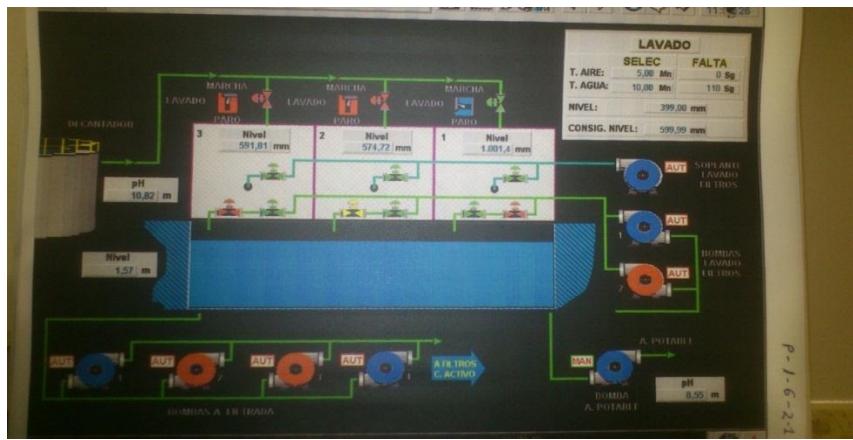


Figura 6: Filtros de gravedad

La finalidad de estos filtros, es retener los flóculos que no se han quedado en el acelerador y no han sido purgados y conducir el agua al depósito de agua filtrada.

Descripción

Consta de tres filtros, denominados PACKAGED, que actúan por gravedad.

Cada uno de los lechos filtrantes está formado por una capa de antracita, debajo de esta, una capa de arena y debajo 3 capas de distintas granulometrías.

En cada filtro hay incorporado una sonda de nivel señalizándonos en milímetros la altura de agua.

Se dispone para el aire de limpieza de una soplante únicamente. También necesitamos de un grupo de dos bombas, para el lavado de los filtros que se alternan, para igualar el número de horas de funcionamiento.

Entre el acelerador y los filtros de gravedad se realiza el control de medida de pH, para lo cual se ha realizado una extracción de agua que pasa en continuo por dicho analizador, cuyo control es primordial para el buen funcionamiento del acelerador.

El caudal unitario de estos filtros es de 58 m³/h en funcionamiento normal, y filtrando como máximo 87 m³/h, lo que supone un total máximo de unos 250 m³/h con los tres filtros.

Debajo de todas las válvulas están los depósitos de agua filtrada con su nivel correspondiente, que se encarga de almacenar el agua filtrada hasta un volumen total de 2350 m³.

En la parte inferior se tiene 4 bombas que son, las bombas de agua filtrada siendo las encargadas de impulsar el agua filtrada, a la zona de segundo filtrado y desmineralización.

Filtros de carbón activo

Se dispone de 3 filtros de carbón activo (figura 22 y figura 23) los cuales se componen de una cuba metálica cerrada, siendo su funcionamiento a presión. El proceso de filtración, es sobre lecho filtrante de carbón activo y la recogida de agua se produce a través de unas mangas, una vez el filtro se ha ensuciado, se puede limpiar con la misma agua en sentido contrario al de filtrado.

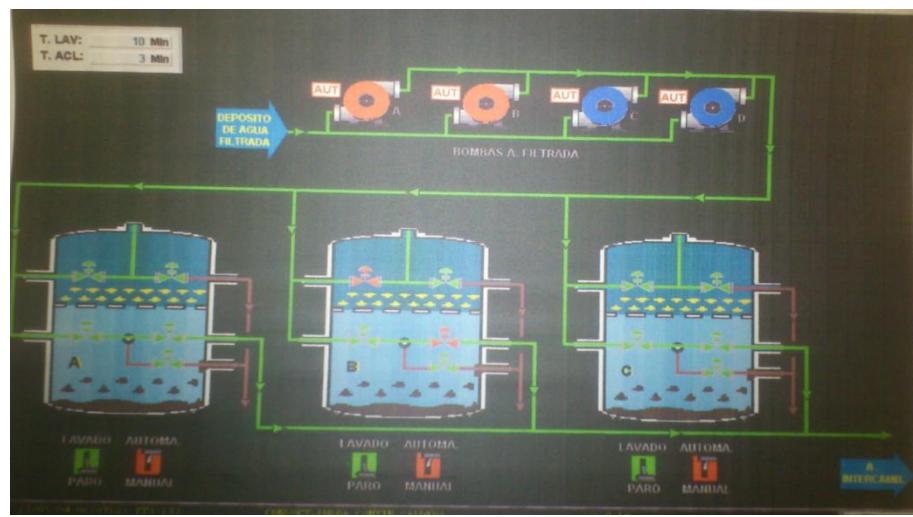


Figura 7: Filtros de carbón activo



Figura 8: Filtro de carbón activo a presión

Estos filtros tienen la función de realizar un filtrado final, antes de entrar el agua en las cadenas de desmineralización, otra función sería la de eliminación del cloro residual, procedente de una posible esterilización que tuviéramos que realizar si existiese materia orgánica en el agua bruta, que estamos utilizando en nuestra instalación, con una capacidad de retención de 5 ppm máximo.

Este carbón no es necesario regenerarlo, ya que el cloro no es realmente absorbido sino que se transforma en clorhídrico, simplemente se lavara el filtro.

Esta instalación, dispone de un by-pass para el caso de no utilizarlos, por estar el límite de cloro en 1 ppm, que es el límite de concentración que admiten las resinas sin sufrir deterioro.

Funcionamiento y lavado

Estos filtros, disponen de un lecho de carbón activo, entrando el agua impulsada, por las bombas de agua filtrada por la parte superior y saliendo dicha agua filtrada por la parte inferior, a través de unas mallas de recogida de agua. La disposición de válvulas es totalmente automática, así como su lavado.

El caudal unitario de estos filtros es de 58 m³/h en funcionamiento normal, lo que supone un total máximo de unos 174 m³/h con los tres filtros.

El lavado se realiza a contracorriente de la producción y el agua utilizada para dicho lavado, es agua filtrada extraída de los depósitos de agua filtrada, siendo impulsada por las mismas bombas de agua filtrada, saliendo el agua sucia por la parte superior y verterá el agua sucia al canal de desagüe.

iv. DESMINERALIZACIÓN PRIMARIA

a. Principios elementales y generalidades

La instalación de desmineralización primaria consta de tres cadenas idénticas dispuestas en paralelo y cada una de ellas, formadas: por un Catexer y un Anexer, conectados en serie, con capacidad unitaria neta de 57 m³/h. siempre que sea preciso.

La función de esta instalación consiste en tratar el agua filtrada que ha salido de los filtros de carbón activo, en dos partes bien diferenciadas.

En la primera parte al agua se hace pasar por un equipo de resina catiónica, llamado catexer (figura 24), dejando en él los iones calcio y magnesio del agua filtrada. Para su regeneración se utilizara ácido sulfúrico una vez se agote esta y a contracorriente.

En la segunda parte el agua que ha salido del catexer se le hace pasar por el equipo de resina aniónica (figura 25), que estará a su vez distribuida en dos zonas, con dos resinas aniónicas, una débil y otra fuerte, llamado anexer y dejando los aniones. Para su regeneración se utilizara sosa cáustica, a contracorriente.

Con este proceso se han dejado ya los aniones y también los cationes, ya se ha obtenido un agua desmineralizada.

Las posibles variaciones de calidad de agua, por variación en el agua de alimentación o variación de rendimiento del decantador repercutirán únicamente en una reducción de producción total. La producción de agua de cada resina es de 920 m³ antes de que tenga que ser regenerada.

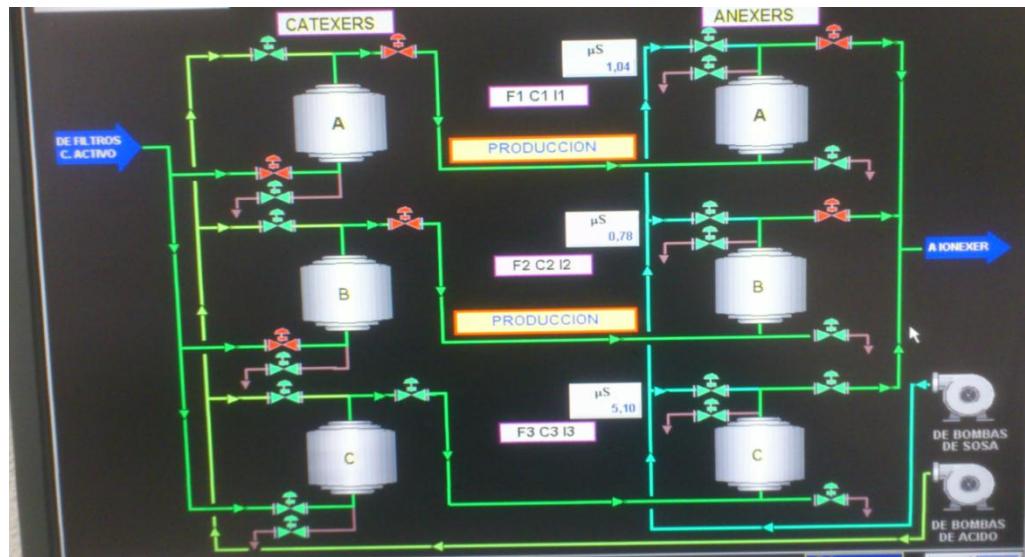


Figura 9: Cadenas de catedxers y anexers



Figura 10: Cadenas de anexers

Las resinas intercambiadoras que se han seleccionado para la desmineralización primaria, han sido las de lecho fluidificado, considerando el menor consumo de

reactivos, menor fuga de iones y un menor consumo de agua lavado en las regeneraciones.

La principal característica de los lechos fluidificados es su funcionamiento en contracorriente, es decir, regenerar en sentido contrario al de servicio.

Durante la fase de servicio el agua a tratar penetra por la parte inferior de los aparatos con una velocidad tal que permita la formación de un lecho sólido, de tal forma que cuanto mayor sea el lecho sólido menor fuga de iones se produce, al mismo tiempo que favorece al intercambio iónico.

El resto de la resina que no constituye lecho sólido, puede moverse libremente en el líquido. En esta zona se retiene la mayor parte de los iones, por lo que al concluir el servicio la resina se encuentra totalmente agotada. El lecho sólido que se encuentra encima se utiliza para pulido final.

Con el fin de disminuir la pérdida de carga que la resina produce durante la fase de servicio, al estar comprimida contra las ranuras de las toberas e incluso evitar la posible obturación de las mismas, se ha colocado una capa de resina inerte de granulometrías ligeramente mayor que la resina intercambiadora, con el fondo de toberas superior y la resina.

Las resinas son marca LEWATIT de Bayer, de los siguientes tipos en cada cambiador:

CATEXER F-2-1-2 Catiónica fuerte S — 100 WS

ANEXER F-2-1-3 Aniónica débil MP — 64 WS

Aniónica fuerte M — 504 WS

Resina Inerte IN — 40

Para realizar el contralavado de las resinas, se ha dispuesto un depósito cilíndrico vertical. Este depósito está abierto en la parte superior con un pasillo para control de la expansión del contralavado.

Tener presente que solo se trasiega para contralavar la mitad del lecho de resina contenida en el cambiador.

b. Elementos básicos de cada intercambiador

Un intercambiador está compuesto de:

Un recipiente metálico, cerrado, de eje vertical, que contiene la resina intercambiadora.

La naturaleza de esta resina dependerá del intercambio que nos interese.

Los fondos: superior e inferior estarán cerrados con una placa perforada y en los agujeros, se montan unas toberas de plástico de ranuras calibradas, para conseguir que pase el agua y no se escape la resina, a parte que hace de repartidor del agua del regenerante.

En la parte superior se deja en espacio hueco para permitir su expansión y encima de este espacio una capa de resina inerte “plástico”, para evitar fugas de finos de la resina correspondiente.

c. Regeneración cadena primaria

Esta regeneración se realiza introduciendo: en el caso de las resinas catiónicas ácido sulfúrico diluido y en el caso de resinas aniónicas sosa cáustica.

Al estar en contacto, el regenerante con la resina, se produce una desorción o regeneración, liberando de la resina las sales que ha estado reteniendo durante el tiempo de producción y dejando la resina lista para ser utilizada.

La solución regenerante se adiciona por la parte de arriba sobre el lecho de resina que se encuentra en forma compacta. La parte de resina utilizada para el pulido final, se encuentra en esta fase por encima de la capa anterior fluidificada y recibe una mayor cantidad de regenerante, consiguiéndose una menor fuga de iones que con un sistema de regeneración convencional, es decir, en el mismo sentido que el flujo de agua a tratar.

Cuando el regenerante utilizado en la regeneración de la resina catiónica es el ácido sulfúrico, se corre el peligro de sulfatación de la resina, ocasionado por la precipitación del sulfato cálcico en el seno de la misma. Sin embargo, en nuestro caso, la concentración de calcio en el agua a desmineralizar es insuficiente después del ablandamiento con sosa cáustica. Además, la regeneración con ácido sulfúrico será progresiva con lo que dicho peligro desaparece.

Al principio de la regeneración se obtiene una concentración de ácido del 2 % durante el tiempo que se fija en las consignas de regeneración y transcurrido el tiempo de introducción de ácido al 2 % entrara la velocidad rápida en servicio dando una concentración del 4 % y el tiempo que se fija también en las consignas de regeneración, pasado este tiempo la bomba se parara automáticamente.

Para la regeneración de las cadenas aniónicas se tiene 2 bombas dosificadoras de sosa que toman la sosa del depósito general de sosa cáustica.

Estas bombas son iguales para la regeneración progresiva de los anexer, siendo utilizadas una de las bombas en cada regeneración.

Estas bombas solo disponen de una velocidades de trabajo obteniendo una concentración de sosa del 4 % durante el tiempo que se fija en las consignas de regeneración y transcurrido el tiempo de introducción de sosa se parara

Cantidad teórica de reactivos a utilizar en la regeneración de la resina

Catexer: - 552 kg de ácido al 93% en peso en cada regeneración

Anexer: - 778 kg de NaOH al 50% en peso en cada regeneración

Cantidad real de reactivos que se utilizan actualmente en la regeneración de la resina

Catexer: - 981 kg de ácido al 93% en peso en cada regeneración

Anexer: - 1407 kg de NaOH al 50% en peso en cada regeneración

d. *Parámetro de control*

La conductividad límite prevista a la salida de los anexers es de 6 $\mu\text{s}/\text{cm}$, correspondiente al 85% del agotamiento del lecho. Por tanto el agotamiento de la cadena será detectado por el analizador conectado a la salida de cada cadena, cuando la conductividad medida por el mismo alcance los 6 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Sin embargo en la práctica, esto es más estricto, ya que cuando la conductividad supera durante un tiempo determinado el valor de 3 $\mu\text{s}/\text{cm}$, se considera que está agotada, y para la producción quedando dispuesta para regenerarla.

v. DESMINERALIZACIÓN SECUNDARIA

Principios elementales y generalidades

Los ionexers (figura 26) son cambiadores de lecho mixto de resina catiónica fuertemente ácida y resina aniónica fuertemente básica, los cuales en funcionamiento normal se encuentran en un verdadero estado de mezcla.

El agua a tratar llega hasta los ionexers procedente del colector de salida de los anexers, es decir de la salida de la desmineralización primaria.

Cada uno de los tres cambiadores secundarios, debe estar asociado a cada una de las cadenas primarias, aunque podrá ser conectado a cualquiera de ellas indistintamente.

Cada depósito incluye cinco mirillas circulares conectadas a tres niveles, para comprobación de las alturas de resina y de ésta expandida.

Estos ionexers están destinados a retener las posibles fugas de iones y sílice que pudieran salir de los equipos de desmineralización primaria, produciendo un pulido final y evitando fuga de iones al agua de servicio que se utiliza en nuestras instalaciones.



Figura 11: Cadenas de ionexers

Consta de tres cambiadores de lecho mixto (ionexer), para un caudal unitario de 57,5 m³/h.

La función de esta instalación consiste en tratar el agua desmineralizada que ha salido de las cadenas de desmineralización primarias.

Las resinas intercambiadoras que se han seleccionado para la desmineralización secundaria han sido una mezcla de resinas: Catiónicas y aniónicas.

Durante la fase de servicio el agua a tratar penetra por la parte superior de los aparatos con una velocidad que no permita la fuga de iones.

Las resinas son marca LEWATIT de Bayer, de los siguientes tipos en cada cambiador:

Catiónica fuerte S — 100 MB

Aniónica fuerte M — 500 MB

a. Elementos básicos de un ionexer

El fondo superior está abierto y el fondo inferior está cerrado con una placa perforada y en los agujeros, se montan unas toberas de plástico de ranuras calibradas, para conseguir que pase el agua y no se escape la resina, a parte que hace de repartidor del agua del regenerante.

En la parte superior se deja en espacio hueco para permitir su expansión y encima de este espacio una capa de resina inerte “plástico”, para evitar fugas de finos de la resina correspondiente.

El aparato está provisto de un conjunto externo de válvulas y tuberías necesarias para realizar las diversas operaciones.

b. Regeneración de los ionexers

El proceso de regeneración lo podemos denominar como el proceso inverso de la producción.

Para que se produzca este proceso, es necesario introducir un producto regenerante, a través de toda la superficie de resina, en nuestro caso separaremos hidráulicamente las resinas, introduciendo ácido por la parte inferior y sosa por la parte superior, retirando el vertido por la parte central.

Durante el recorrido del regenerante se irán liberando las sales que fueron retenidas en la fase de producción, que serán eliminadas al desagüe.

c. Parámetros de control y producción.-

El control de agotamiento de una cadena (ionexer) puede detectarse por conductividad (valor límite: 0,5 μ mhos/cm) o por volumen de agua tratada (controlada por tiempo según secuencia de funcionamiento seguido).

Para el control de la conductividad a la salida del agua tratada por cada cambiador, se han dispuesto equipos de conductividad, formados por un monitor indicador montado en el panel de control con contacto de alarma regulable, y, una célula de conductividad con compensador automático de temperatura.

Para el control de la sílice a la salida del agua tratada, se han dispuesto equipo analizador de sílice, formado por un monitor indicador montado a la salida de agua desmineralizada.

Para el control de volumen de agua producida se ha montado un contador de agua que totaliza el caudal de agua desmineralizada procesada en la instalación, montado en el colector de salida de la planta, común a las tres cadenas.

La calidad del agua de salida de los ionexers será la de alimentación a las calderas y desulfuración.

Calidad agua salida del ionexer

- Sílice 0,01 mg/litro
- Conductividad 0,5 micromohos/cm
- Sólidos totales disueltos 0,1 ppm. máximo

Estos valores son teóricos.

En la práctica, medimos valores de conductividad del agua de:

- **0,03 μ s/cm.**
- pH = 6,5
- Sílice= 2,69 ppm

Cantidad de reactivos a utilizar en la regeneración de la resina

Ionexer: - 144 kg de ácido al 93% en peso en cada regeneración y 160 kg de NaOH al 50%

vi. BALSA NEUTRALIZACIÓN

Para la homogenización y neutralización de los vertidos que se producen en la planta de tratamiento de aguas se ha dispuesto una balsa de almacenaje, de unos 110 m³

Los vertidos de: Regeneraciones, lavados de arranque aguas de laboratorio y contra lavados de resinas llegan a la balsa por gravedad.

Una vez homogeneizados son impulsados, mediante dos bombas idénticas de 20 m³ y situadas en el foso de bombas, siendo evacuados a través de una tubería independiente y completamente enterrada, hasta la balsa del Mini Cani.

Del Mini Cani, mezclada con el resto de vertidos provenientes de toda la central, es bombeada al Perle.

a. Operación de la instalación

Los efluentes procedentes de la planta tratamiento de aguas, se van depositando en la balsa de neutralización y el nivel de esta irá subiendo.

Cuando alcance la cota del 75 % se pondrá en servicio automáticamente la turbina agitadora y cuando baje de 75 % se para automáticamente.

Las bombas igualmente se ponen o paran automáticamente según consignas pudiendo ser variadas dichas consignas, según necesidades.

vii. AGUA DESMINERALIZADA

Se tiene dos tanques pequeños de 600 m³ “intermedios” conectados entre sí y dos tanques de 3000 m³ “de almacén” conectados entre sí.

En estos tanques, la conductividad del agua que tenemos es de 0,7 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

ANEXO IV. MEDIDA DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

ANEXO IV. MEDIDA DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Equipo

Espectrofotómetro DR2800 Lange

Especificaciones

Method: 8006

Rango: (5 to 750 mg/L)

Procedimiento

- Seleccione el método Suspended Solids usando el procedimiento descrito en la sección Selección del Método.
- Llene la cubeta hasta la marca con agua destilada.
- Introduzca la cubeta en la célula de medición y cierre la tapa.
- Pulse la tecla ZERO. El display mostrará “-0,0” cuando el instrumento esté a cero y listo para medición.
- Retira la cubeta.
- Añada el agua en la que desee medir los sólidos en suspensión
- Introduzca la cubeta en la célula de medición y cierre la tapa.
- Pulse READ, el medidor realizará la lectura.
- El instrumento muestra los resultados en mg/l de sólidos en suspensión

ANEXO V. RESULTADO EXPERIMENTALES

Anexo V

ANEXO V. RESULTADOS

En este anexo se presentan tablas que recogen los resultados de todos los experimentos realizados

i. Análisis del agua de aporte al decantador y agua de salida del mismo

Tabla 3: Análisis agua de entrada y de salida del decantador Accelerator

Agua entrada al decantador (febrero y mayo)								
Nº experimento	pH	dureza cárlica (ml de edta 0,01 M)	dureza cárlica (mg/l CaCO3)	dureza total (ml de edta 0,01 M)	dureza total (mg/l CaCO3)	Alcalinidad (mg/l CaCO3)	sólidos en suspensión (mg/l)	conductividad (μs/cm)
1 (febrero)	7,7	15	300	21,5	430	125	0	650
2 (febrero)	7,7	15	300	21,3	426	125	0	635
1 (mayo)	8,5	12,2	244	16,3	326	85	0	543
Agua salida del decantador (Febrero)								
Nº experimento	pH	dureza cárlica (ml de edta 0,01 M)	dureza cárlica (mg/l CaCO3)	dureza total (ml de edta 0,01 M)	dureza total (mg/l CaCO3)	Alcalinidad (mg/l de CaCO3)	sólidos en suspensión (mg/l)	conductividad (μs/cm)
1	9,6	3,5	70	8,7	174	40	9	630
2	9	3,2	64	8,2	164	30	8	
Agua salida del decantador (Mayo)								
Nº experimento	pH	dureza cárlica (ml de edta 0,01 M)	dureza cárlica (mg/l CaCO3)	dureza total (ml de edta 0,01 M)	dureza total (mg/l CaCO3)	Alcalinidad (mg/l de CaCO3)	sólidos en suspensión (mg/l)	conductividad (μs/cm)
cadena 1	9,57	1,7	34	5,7	114	25	5	480
cadena 2	9,56	1,7	34	5,7	114	20	5	512
cadena 2	9,55	1,7	34	5,7	114	20	5	495

cadena 3	9,51	1,7	34	5,7	114	20	5	501
----------	------	-----	----	-----	-----	----	---	-----

ii. Proceso de ablandamiento con sosa

Tabla 4: Ablandamiento de agua con sosa.

Experimentos puesta en marcha con NaOH y FeCl3 (Febrero)									
Nº experimento	pH final	dureza cárlica (ml de edta 0,01 M)	dureza cárlica (mg/l CaCO3)	dureza total (ml de edta 0,01 M)	dureza total (mg/l CaCO3)	Alcalinidad (mg/l de CaCo3)	sólidos en suspensión (mg/l)	conductividad (μs/cm)	pH antes de descarbonatació
1	7,8	13,8	276	20,8	416	80	1	750	-
2	8,5	9,7	194	15,6	312	70	1	760	-
3	9,0	5,6	112	11,5	230	30	1	730	-
Experimentos rango de concentración de NaOH y FeCl3 (Febrero)									
Nº experimento	pH final	dureza cárlica (ml de edta 0,01 M)	dureza cárlica (mg/l CaCO3)	dureza total (ml de edta 0,01 M)	dureza total (mg/l CaCO3)	Alcalinidad (mg/l de CaCo3)	sólidos en suspensión (mg/l)	conductividad (μs/cm)	pH antes de descarbonatació
4	8,7	13,8	276	20,4	408	70	1	940	9
5	8,7	11,1	222	17,4	348	85	1	700	9,9
6	8,6	9,5	190	15,6	312	110	1	709	9,5
7	8,9	7,6	152	13,9	278	50	1	777	9,7
8	9,2	6,3	126	12	240	45	1	787	10
9	9,3	4,2	84	9,1	182	35	1	704	10,5
10	9,8	3,6	72	8,2	164	50	1	719	10,7
11	9,9	2,5	50	4,6	92	35	1	740	11

Anexo V

12	10,8	1,3	26	1,7	34	100	1	895	11,3
13	11,5	1	20	1,3	26	255	1	1530	11,7

Experimentos optimización de pH con NaOH y FeCl3 (Febrero)									
Nº experimento	pH final	dureza cárlica (ml de edta 0,01 M)	dureza cárlica (mg/l CaCO3)	dureza total (ml de edta 0,01 M)	dureza total (mg/l CaCO3)	Alcalinidad (mg/l de CaCO3)	sólidos en suspensión (mg/l)	conductividad (μ s/cm)	pH antes de descarbonatació
15	8,9	7,8	156	14,3	286	60	1	680	9,75
16	9,0	6,5	130	12,7	254	50	1	710	10
17	9,4	4,9	98	11,2	224	35	1	665	10,25
18	9,7	4,4	88	9,8	196	30	1	670	10,5
19	9,9	3,6	72	8	160	25	1	675	10,75
20	10,2	2,6	52	5,9	118	10	1	680	11

Experimentos optimización de pH con NaOH y FeCl3 (Mayo)											
Nº experimento	pH final	concentración de sosa (g/l)	dureza cárlica (ml de edta 0,01 M)	dureza cárlica (mg/l CaCO3)	dureza total (ml de edta 0,01 M)	dureza total (mg/l CaCO3)	Alcalinidad (mg/l de CaCO3)	sólidos en suspensión (mg/l)	conductividad (μ s/cm)	pH antes de descarbonatación	
21	10,6	0,47	0,7	14	2	40	35	0	670	11,0	
22	10,5	0,40	1	20	3,8	76	40	0	660	10,9	
23	10,2	0,37	1,2	24	3,9	78	40	0	590	10,7	
24	9,9	0,30	1,7	34	4,8	96	20	0	568	40,45	

25	9,5	0,27	2,3	46	5,7	114	25	0	560	10,2
26	9,3	0,25	3,2	64	7	140	35	0	555	10,04

iii. Proceso de ablandamiento con cal

Tabla 5: Ablandamiento de agua con cal.

Experimentos con Ca(OH)2 y FeCl3 (Febrero) (todo rango de pH)										
Nº experimento	pH final	dureza cárlica (ml de edta 0,01 M)	dureza cárlica (mg/l CaCO3)	dureza total (ml de edta 0,01 M)	dureza total (mg/l CaCO3)	Alcalinidad (mg/l de CaCO3)	sólidos en suspensión (mg/l)	conductividad (μs/cm)	pH antes de descarbonatación	
1	8,3	16,2	324	23	460	100	0	650	8,5	
2	8,5	14,8	296	22,1	442	65	0	680	9	
3	8,6	12,8	256	18,8	376	20	0	700	9,65	
4	8,7	12,5	250	18,5	370	5	0	615	9,6	
5	9,2	11,2	224	17,5	350	0	0	590	10,15	
6	9,7	12,2	244	17,5	350	0	0	600	10,5	
7	9,8	12,6	252	17,6	352	0	0	650	10,7	
8	10,2	15,5	310	17,8	356	0	0	650	11	
9	11,2	21,3	426	22,2	444	0	0	-	12	

Experimentos con Ca(OH)2 Mayo todo rango de pH										
Nº experimento	pH final	Concentración de cal (g/l)	dureza cárlica (ml de edta 0,01 M)	dureza cárlica (mg/l CaCO3)	dureza total (ml de edta 0,01 M)	dureza total (mg/l CaCO3)	Alcalinidad (mg/l de CaCO3)	sólidos en suspensión (mg/l)	conductividad (μs/cm)	pH antes de descarbonatación
1	8,0	0,07	12,1	242	16	320	65	0	560	8,35

2	8,1	0,11	10,5	210	14,6	292	30	0	538	8,6
3	8,3	0,14	8,6	172	12,8	256	5	0	473	8,9
4	8,6	0,18	7,5	150	11,7	234	0	0	445	9,23

iv. Proceso de ablandamiento con cal + carbonato sódico

Tabla 6: Ablandamiento de agua con cal + carbonato sódico

Experimentos febrero con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Na_2CO_3 y FeCl_3 (prueba dosis carbonato sódico)										
Nº experimento	pH final	dureza cárccica (ml de edta 0,01 M añadidos)	dureza cárccica (mg/l CaCO_3)	dureza total (ml de edta 0,01 M añadidos)	dureza total (mg/l CaCO_3)	Alcalinidad (mg/l de CaCO_3)	Na_2CO_3 añadido (ml)	Concentración de Na_2CO_3 (g/l)	conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	pH antes de descarbonatació
1	10,7	8,3	166	10	200	0	1	0,17	-	10,7
2	10,2	2	40	5,5	110	30	2	0,33	-	10,6
3	10,8	1,1	22	3,2	64	155	3	0,50	-	10,75
4	10,5	0,4	8	4	80	325	5	0,83	-	10,55
5	10,6	0,3	6	3	60	360	10	1,67	-	10,65
6	11	0,1	2	3	60	255	30	5,00	-	11

Anexo V

Experimentos febrero con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Na_2CO_3 y FeCl_3 (optimización dosis carbonato sódico)											
Nº experimento	pH final	dureza cárccica (ml de edta 0,01 M añadidos)	dureza cárccica (mg/l CaCO_3)	dureza total (ml de edta 0,01 M añadidos)	dureza total (mg/l CaCO_3)	Alcalinidad (mg/l de CaCO_3)	Na_2CO_3 añadido (ml)	Concentración de Na_2CO_3 (g/l)	conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	pH antes de descarbonatación	Volumen de fangos (ml/l)
13	10,8	6,5	130	11	220	25	0,8	0,13	699	10,82	
14	10,8	4,7	94	9	180	40	1,1	0,18	667	10,8	
15	10,8	4,2	84	8,6	172	40	1,2	0,20	650	10,8	
16	10,4	3,5	70	8,6	172	35	1,3	0,22	703	10,4	
17	10,4	2,8	56	8	160	40	1,4	0,23	675	10,6	
18	10,2	2,2	44	7,5	150	30	1,5	0,25	685	10,3	
7	10,2	2,5	50	7,4	148	25	1,5	0,25	760	10,5	3
8	10,2	1,6	32	6,2	124	45	1,8	0,30	810	10,5	2
9	10,2	1,4	28	5,4	108	40	2,1	0,35	920	10,5	-
10	10,2	2	40	5,8	116	35	2,4	0,40	850	10,65	4,5
Prueba floculante (1ppm)	10	2,5	50	7,5	150	0	1,8	0,30	750	10,5	-
Prueba floculante (1ppm)	10	1,4	28	5,9	118	50	2,2	0,37	865	10,5	3

Experimentos mayo con Ca(OH) ₂ , Na ₂ CO ₃ y FeCl3 (optimización dosis carbonato sódico)										
Nº experimento	pH final	dureza cárccica (ml de edta 0,01 M añadidos)	dureza cárccica (mg/l CaCO ₃)	dureza total (ml de edta 0,01 M añadidos)	dureza total (mg/l CaCO ₃)	Alcalinidad (mg/l de CaCO ₃)	Na ₂ CO ₃ añadido (ml)	Concentración de Na ₂ CO ₃ (g/l)	conductividad (μs/cm)	pH antes de descarbonatación
13	8	6	120	8,9	178	0	0,8	0,13	483	9
14	8,5	3,7	74	7,6	152	5	1,1	0,18	503	9,4
15	9,3	1,5	30	5,2	104	30	1,2	0,20	560	9,75
16	9,5	1,1	22	4,7	94	80	1,3	0,22	670	9,78
17	10	0,5	10	3,8	76	150	1,4	0,23	800	10,21

