

# 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<sup>a</sup> Peña Ormad Melero

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



|   |           |
|---|-----------|
| <b>ANEXO I. DUREZA Y ALCALINIDAD DEL AGUA .....</b>   | <b>5</b>  |
| i. Dureza del agua.....   | 7         |
| ii. Cálculo de la dureza total y cálcica del agua.....  | 8         |
| a. Cálculo de la dureza total .....   | 8         |
| b. Cálculo de la dureza cálcica.....  | 9         |
| iii. Alcalinidad del agua .....   | 10        |
| iv. Cálculo de la alcalinidad del agua .....  | 11        |
| <b>ANEXO II. ÍNDICE DE LANGUELIER.....</b>  | <b>13</b> |
| 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        |
| <b>ANEXO III.EL CICLO DEL AGUA EN LA CENTRAL TÉRMICA DE ANDORRA .....</b>                                 | <b>29</b> |
| 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        |
| <b>v.</b>   | <b>DESMINERALIZACIÓN SECUNDARIA .....</b>                                   | <b>45</b> |
|             | 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        |
| <b>vi.</b>  | <b>BALSA NEUTRALIZACIÓN .....</b>   | <b>47</b> |
| a.          | Operación de la instalación .....   | 48        |
| <b>vii.</b> | <b>AGUA DESMINERALIZADA.....</b>  | <b>48</b> |
|             | <b>ANEXO IV. MEDIDA DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN .....</b>                      | <b>49</b> |
|             | <b>ANEXO V. RESULTADO EXPERIMENTALES .....</b>                              | <b>53</b> |
| <b>i.</b>   | <b>Análisis del agua de aporte al decantador y agua de salida del mismo</b> | <b>56</b> |
| <b>ii.</b>  | <b>Proceso de ablandamiento con sosa .....</b>                              | <b>57</b> |
| <b>iii.</b> | <b>Proceso de ablandamiento con cal.....</b>                                | <b>59</b> |
| <b>iv.</b>  | <b>Proceso de ablandamiento con cal + carbonato sódico .....</b>            | <b>60</b> |

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



## 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 sustancias 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.

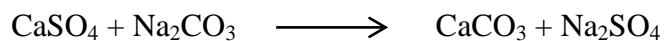
En el pasado, ha sido costumbre clasificar la dureza como temporal o permanente, ambas comúnmente presentes, aunque en ocasiones no lo están. Son preferibles los términos "dureza de carbonatos" y de "no carbonatos" los cuales son más precisos en su descripción. Las aguas que contienen dureza temporal 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 formar 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 agregan 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 menos 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:

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

dónde: A = mL consumidos solución EDTA 0,01 M valoración de la muestra (1 mg CaCO<sub>3</sub> 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 (MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O) en 50 mL de agua destilada. Añadir a esta solución 16,9 g de cloruro de amonio (NH<sub>4</sub>Cl) y 143 mL de hidróxido de amonio concentrado (NH<sub>4</sub>OH) y diluir a 250 mL con agua destilada.

#### b. Cálculo de la dureza cálcica

##### 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 menos 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:

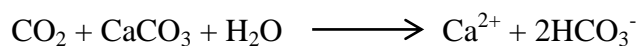
$$\text{Calcio (mg/l de CaCO}_3\text{)} = \frac{A \cdot 1000 \cdot 1}{\text{mL muestra}}$$

dónde: A = mL consumidos solución EDTA 0,01 M valoración de la muestra (1 mg CaCO<sub>3</sub> equivale a 1 mL solución EDTA 0,01M).

**iii. Alcalinidad del agua**

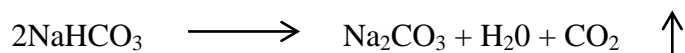
La alcalinidad del agua es la medida de su capacidad para neutralizar ácidos. También se utiliza el término capacidad de neutralización de ácidos (CNA), y representa la suma de las bases que pueden ser valoradas. Esta alcalinidad de las aguas naturales se debe principalmente a las sales de ácidos débiles,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

Los bicarbonatos son los compuestos que más contribuyen a la alcalinidad, puesto que se forman en cantidades considerables por la acción del CO<sub>2</sub> sobre la materia básica del suelo como podemos ver en la reacción:

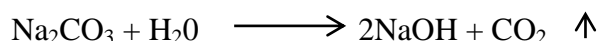


Es deseable tener alguna alcalinidad en el agua de la caldera, así que rara vez se lleva a cabo una remoción completa de la alcalinidad del remplazo de la caldera, excepto en la desmineralización. También se necesita cierta alcalinidad para dar el pH óptimo en el agua de alimentación a fin de prevenir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

Cuando los carbonatos y bicarbonatos se exponen a las temperaturas de la caldera, se rompen liberando CO<sub>2</sub>:



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 CO<sub>2</sub> generado es proporcional a la alcalinidad. Para una alcalinidad dada se forma el doble de CO<sub>2</sub> tanto a partir del HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> como del CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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 CaCO<sub>3</sub>)

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 ( $\text{CaCO}_3$ ).

## **ANEXO II. ÍNDICE DE LANGUELIER**



## ANEXO II. INDICE DE LANGELIER

### 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  $\text{CaCO}_3$ , en términos de pH como variable principal. Sin embargo, su principal limitación es que no facilita ninguna indicación referente a la cantidad de  $\text{CaCO}_3$  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  $\text{CaCO}_3$ , tratándose de aguas corrosivas. Valores de LSI positivos revelarán, sin embargo, que se trata de aguas incrustantes con elevada probabilidad de formar depósitos de  $\text{CaCO}_3$ . 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 valor 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:

$$pH_s = pK_2^R - pK_s^R + p[\text{Ca}^{2+}] + p[\text{HCO}_3^-] \quad [6]$$

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  $\text{H}_2\text{CO}_3$  y en la solubilidad del  $\text{CaCO}_3$  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  $\text{HCO}_3^-$ , expresada en mg de  $\text{CaCO}_3/\text{l}$
- Dureza de las sales de Calcio, en mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$
- Sólidos disueltos totales, en mg/l
- Temperatura del agua

Este método de cálculo del  $\text{pH}_s$  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  $\text{Ca}^{2+}$  e iones  $\text{HCO}_3^-$ , 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  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{OH}^-$  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  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ . 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:

$$\text{pH}_s = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad [8]$$

en la que A, B, C y D son parámetros que representan la influencia en el valor del  $\text{pH}_s$  de las sales disueltas, la temperatura del agua, la dureza de calcio y la alcalinidad, respectivamente.

Las siguientes ecuaciones permiten obtener el valor de estas variables.

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

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

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

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

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].

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

Por último, una vez conocido el  $\text{pH}_s$  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].

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

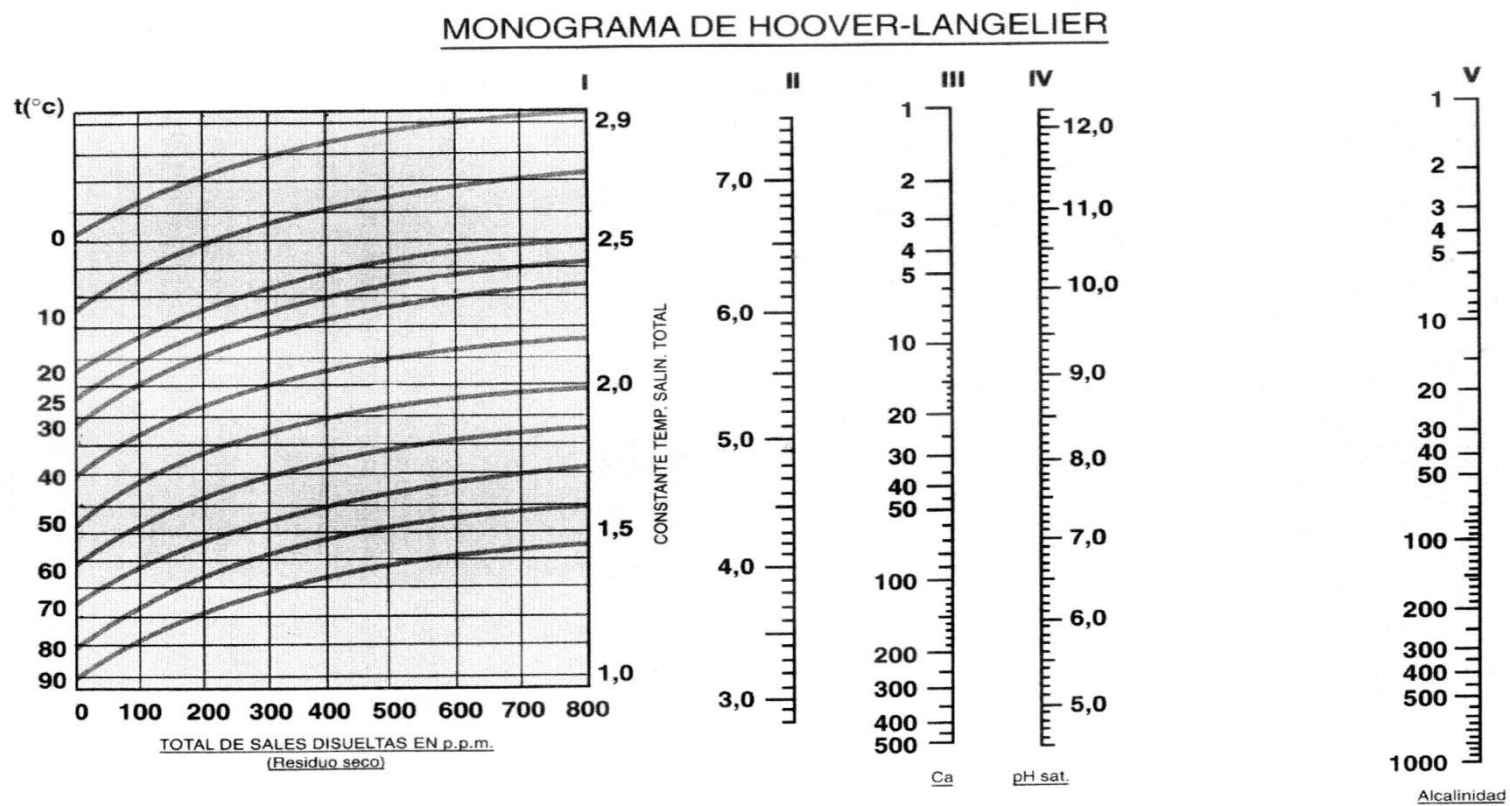


Figura 1: Diagrama de Langelier

## 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  $\text{CaCO}_3$ . El  $\text{pH}_s$  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.

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

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:

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

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

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

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

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 <sub>3</sub> ) | dureza cálcica (mg/l de CaCO <sub>3</sub> ) | bicarbonatos (mg/l de CaCO <sub>3</sub> ) | CL (mg/l de CaCO <sub>3</sub> ) | SO <sub>4</sub> (mg/l de CaCO <sub>3</sub> ) | 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<br>2008 | dureza total<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | dureza cálcica<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | bicarbonatos<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | CL (mg/l<br>de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | SO <sub>4</sub><br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | PH   | CONDUC<br>(μs/cm) | SDT<br>(mg/l) | T<br>(°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<br>2008 | dureza total<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | dureza cálcica<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | bicarbonatos<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | CL (mg/l<br>de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | SO <sub>4</sub><br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | PH   | CONDUC<br>(μs/cm) | SDT<br>(mg/l) | T<br>(°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<br>2008 | dureza total<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | dureza cálcica<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | bicarbonatos<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | CL (mg/l<br>de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | SO <sub>4</sub><br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | PH   | CONDUC<br>(μs/cm) | SDT<br>(mg/l) | T<br>(°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<br>2008 | dureza total<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | dureza cálcica<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | bicarbonatos<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | CL (mg/l<br>de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | SO <sub>4</sub><br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | PH   | CONDUC<br>(μs/cm) | SDT<br>(mg/l) | T<br>(°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

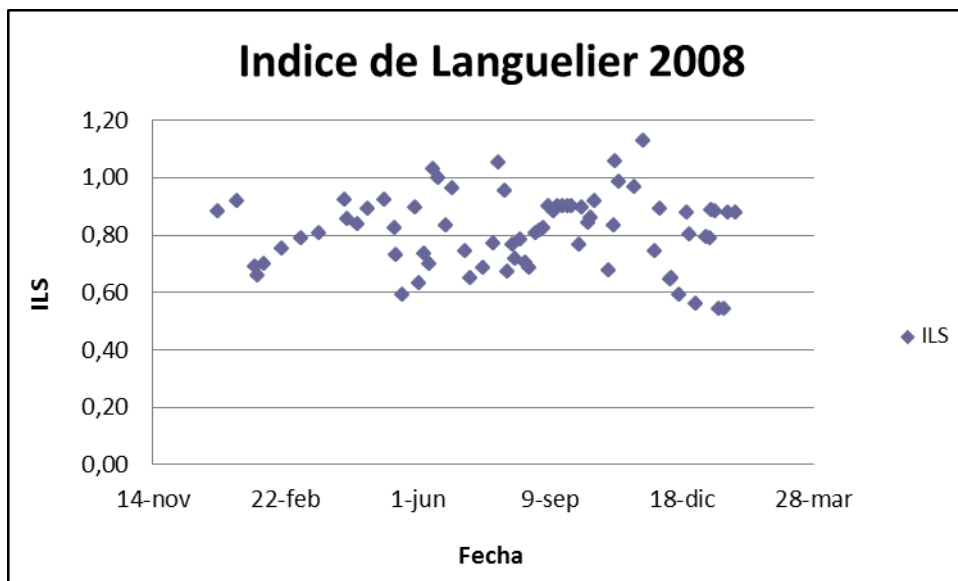
| FECHA<br>2008 | dureza total<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | dureza cálcica<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | bicarbonatos<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | CL (mg/l<br>de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | SO <sub>4</sub><br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | PH   | CONDUC<br>(μs/cm) | SDT<br>(mg/l) | T<br>(°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<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | dureza cálcica<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | bicarbonatos<br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | CL (mg/l<br>de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | SO <sub>4</sub><br>(mg/l de<br>CaCO <sub>3</sub> ) | PH   | CONDUC<br>(μs/cm) | SDT<br>(mg/l) | T<br>(°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  $\text{CaCO}_3$ . 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 Guadalope, 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 realizara, en dos pasos:
- Desmineralización primaria, donde pasa el agua a través de una resina catiónica y seguida de una resina aniónica, donde se quedaran 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.

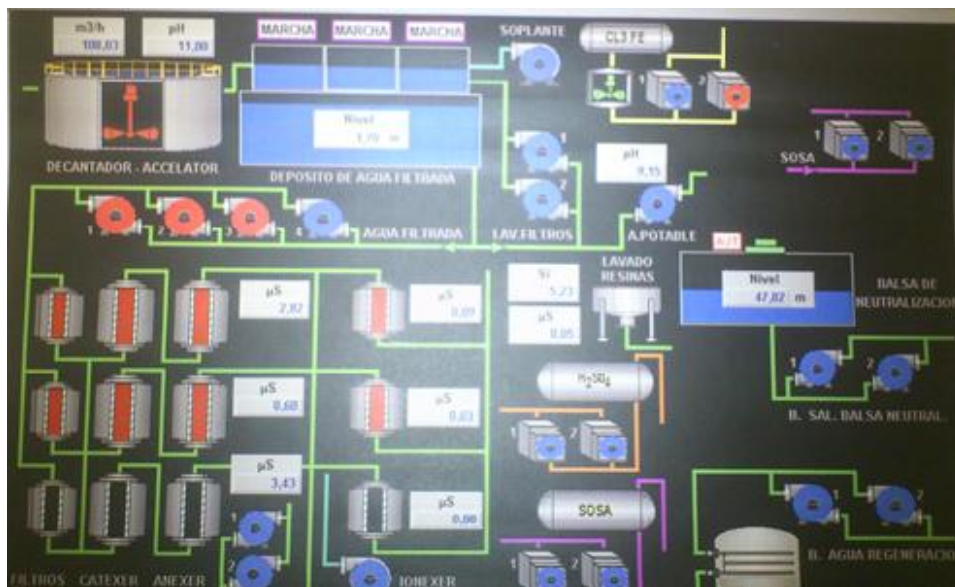


Figura 3: Esquema de la planta completa

## 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 acelerador, 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.

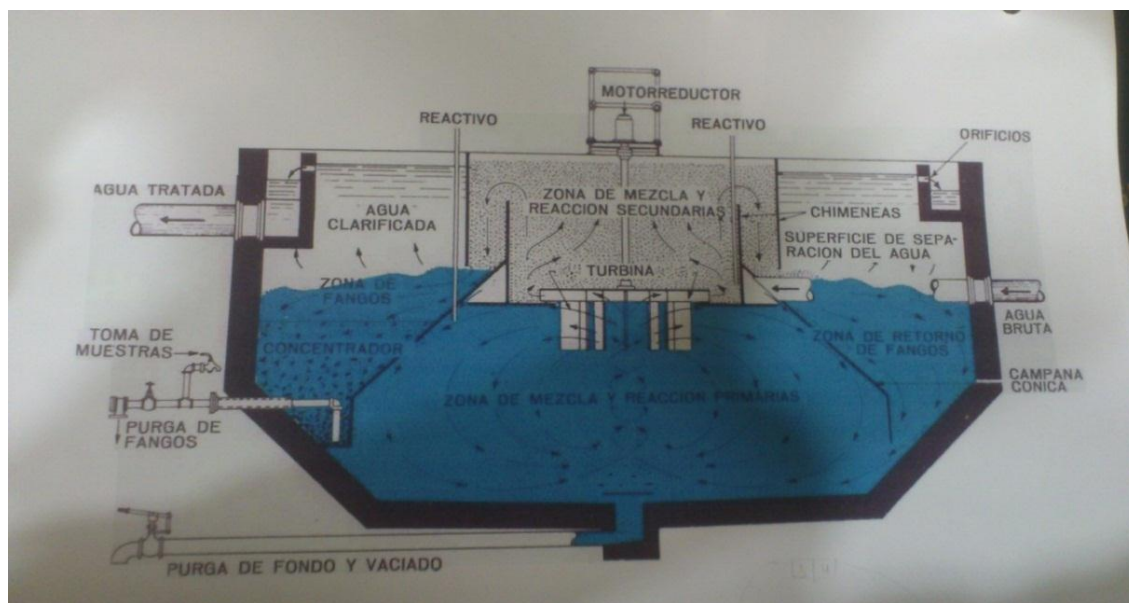
b. Etapas del pretratamiento

*Decantador acelerador*

El decantador – ACCELATOR (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 ACCELATOR*



*Figura 5: Decantador ACCELATOR*

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 acelerator 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 acelerator está diseñado para un caudal máximo de 250 m<sup>3</sup>/h.

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

La primera característica propia del acelerator 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 acelerator, 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 acelerator. 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 acelerator.

- Se prevé una dosis teórica de 250 gr. de sosa al 50% (densidad de la sosa 1,5 kg/litro) en peso por m<sup>3</sup> de agua tratada en el acelerator, aunque en realidad se está utilizando 650 gr. de sosa al 50% por m<sup>3</sup> de agua tratada.
- Se ha previsto una dosis teórica de cloruro férrico de 15 gr /m<sup>3</sup> rico al 100% en peso, aunque en realidad se está empleando 63 gr / m<sup>3</sup>.

#### 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.

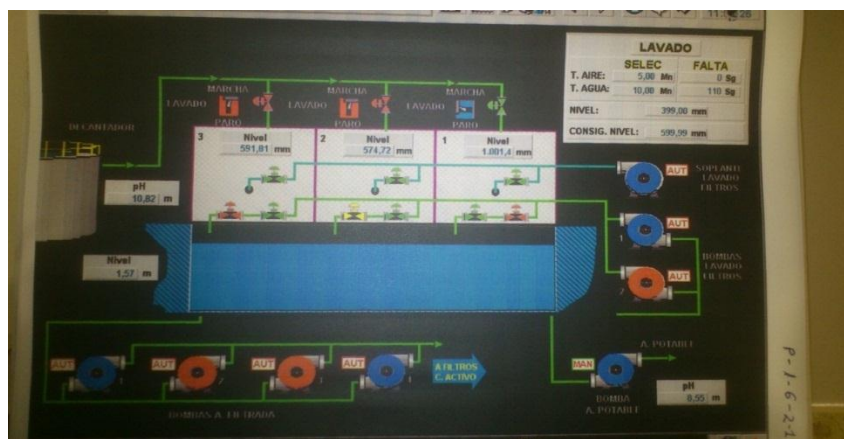


Figura 6: Filtros de gravedad

La finalidad de estos filtros, es retener los flóculos que no se han quedado en el acelerator 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 grava 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 acelerator 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 acelerator.

El caudal unitario de estos filtros es de 58 m<sup>3</sup>/h en funcionamiento normal, y filtrando como máximo 87 m<sup>3</sup>/h, lo que supone un total máximo de unos 250 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>.

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.

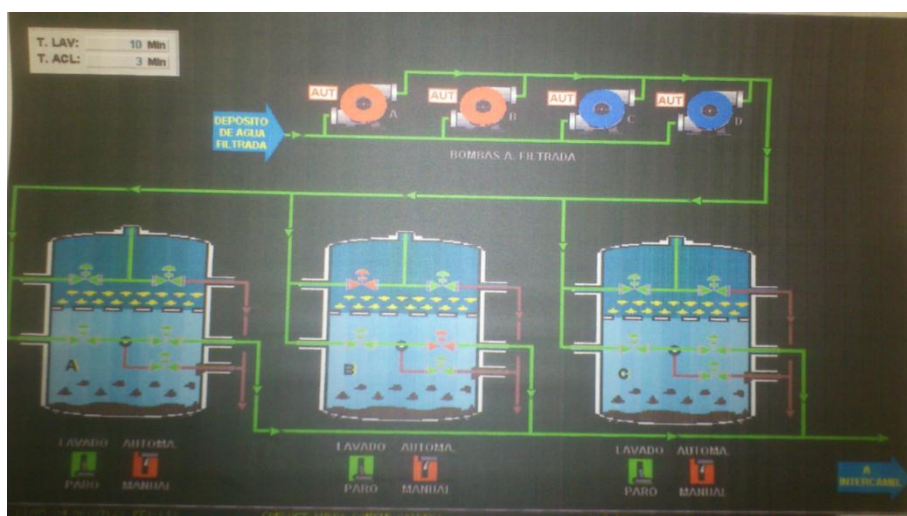


Figura 7: Filtros de carbón activo





*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 m<sup>3</sup>/h en funcionamiento normal, lo que supone un total máximo de unos 174 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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.

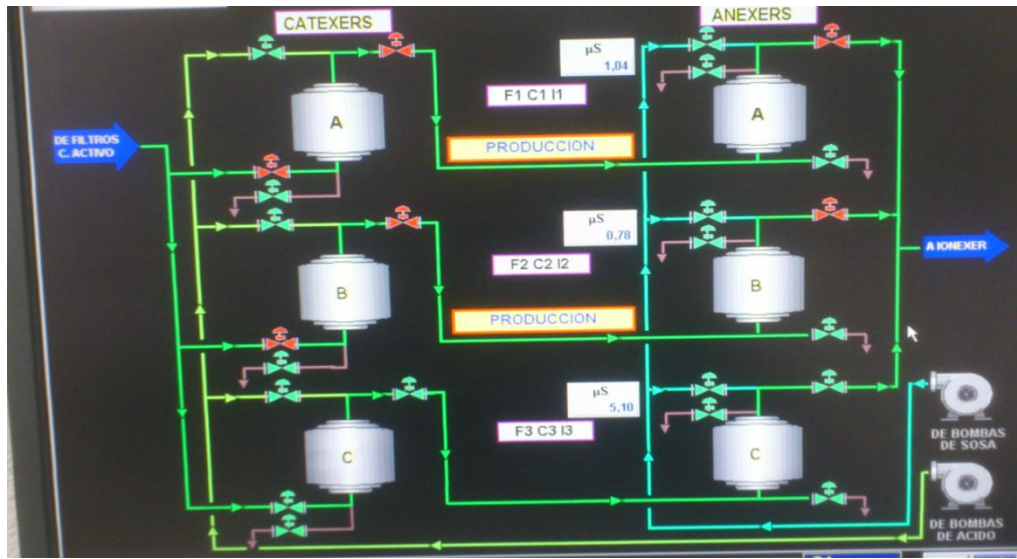
En la primera parte al agua se hace pasar por un equipo de resina catiónica, llamado catexer (figura 24), dejando en él los iones calcio y magnesio del agua filtrada. Para su regeneración se utilizara ácido sulfúrico una vez se agote esta y a contracorriente.

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 m<sup>3</sup> antes de que tenga que ser regenerada.





*Figura 9: Cadenas de caterxers 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  $\mu\text{s/cm}$ , 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  $\mu\text{s/cm}$ .

Sin embargo en la práctica, esto es más estricto, ya que cuando la conductividad supera durante un tiempo determinado el valor de 3  $\mu\text{s/cm}$ , 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 m<sup>3</sup>/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  $\mu\text{mhos/cm}$ ) 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  $\mu\text{s/cm}$ .**
- 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 m<sup>3</sup>

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 m<sup>3</sup> 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 ira subiendo.

Cuando alcance la cota del 75 % se pondrá en servicio automáticamente la turbina agitadora y cuando baja 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 m<sup>3</sup> “intermedios” conectados entre sí y dos tanques de 3000 m<sup>3</sup> “de almacén” conectados entre sí.

En estos tanques, la conductividad del agua que tenemos es de 0,7 µs/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. 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 Accelator*

| Agua entrada al decantador (febrero y mayo) |      |                                     |  |                                   |  |  |                              |                       |
|---|------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|--|--|------------------------------|-----------------------|
| Nº experimento                              | pH   | dureza cálcica (ml de edta 0,01 M ) | dureza cálcica (mg/l CaCO <sub>3</sub> ) | dureza total (ml de edta 0,01 M ) | dureza total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ) | Alcalinidad (mg/l CaCO <sub>3</sub> )    | 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 cálcica (ml de edta 0,01 M ) | dureza cálcica (mg/l CaCO <sub>3</sub> ) | dureza total (ml de edta 0,01 M ) | dureza total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ) | Alcalinidad (mg/l de CaCO <sub>3</sub> ) | 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 cálcica (ml de edta 0,01 M ) | dureza cálcica (mg/l CaCO <sub>3</sub> ) | dureza total (ml de edta 0,01 M ) | dureza total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ) | Alcalinidad (mg/l de CaCO <sub>3</sub> ) | 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 cálcica (ml de edta 0,01 M ) | dureza cálcica (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 cálcica (ml de edta 0,01 M ) | dureza cálcica (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 cálcica (ml de edta 0,01 M ) | dureza cálcica (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 |
|----------------|----------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 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 experiment | pH final | concentración de sosa (g/l) | dureza cálcica (ml de edta 0,01 M ) | dureza cálcica (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 |
|---------------|----------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 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) <sub>2</sub> y FeCl <sub>3</sub> (Febrero) (todo rango de pH) |          |                                     |  |                                   |  |  |                              |                       |                             |
|---|----------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|--|--|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Nº experimento  | pH final | dureza cálcica (ml de edta 0,01 M ) | dureza cálcica (mg/l CaCO <sub>3</sub> ) | dureza total (ml de edta 0,01 M ) | dureza total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ) | Alcalinidad (mg/l de CaCO <sub>3</sub> ) | sólidos en suspensión (mg/l) | conductividad (µs/cm) | pH antes de decarbonatación |
| 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) <sub>2</sub> Mayo todo rango de pH |          |                            |                                     |  |                                   |  |  |                              |                       |                             |
|--|----------|----------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|--|--|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Nº experimento   | pH final | Concentración de cal (g/l) | dureza cálcica (ml de edta 0,01 M ) | dureza cálcica (mg/l CaCO <sub>3</sub> ) | dureza total (ml de edta 0,01 M ) | dureza total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ) | Alcalinidad (mg/l de CaCO <sub>3</sub> ) | sólidos en suspensión (mg/l) | conductividad (µs/cm) | pH antes de decarbonatación |
| 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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , $\text{Na}_2\text{CO}_3$ y $\text{FeCl}_3$ (prueba dosis carbonato sódico) |          |   |  |   |                                      |  |                                       |   |   |                             |
|--|----------|---|--|---|--------------------------------------|--|---------------------------------------|---|---|-----------------------------|
| Nº experimento   | pH final | dureza cálcica (ml de edta 0,01 M añadidos) | dureza cálcica (mg/l $\text{CaCO}_3$ ) | dureza total (ml de edta 0,01 M añadidos) | dureza total (mg/l $\text{CaCO}_3$ ) | Alcalinidad (mg/l de $\text{CaCO}_3$ ) | $\text{Na}_2\text{CO}_3$ añadido (ml) | Concentración de $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (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                          |

| Experimentos febrero con Ca(OH) <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> y FeCl <sub>3</sub> (optimización dosis carbonato sódico) |          |   |  |   |  |  |  |  |                       |                              |                          |
|--|----------|---|--|---|--|--|--|--|-----------------------|------------------------------|--------------------------|
| Nº experimento   | pH final | dureza cálcica (ml de edta 0,01 M añadidos) | dureza cálcica (mg/l CaCO <sub>3</sub> ) | dureza total (ml de edta 0,01 M añadidos) | dureza total (mg/l CaCO <sub>3</sub> ) | Alcalinidad (mg/l de CaCO <sub>3</sub> ) | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> añadido (ml) | Concentración de Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) | conductividad (µs/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 $\text{Ca(OH)}_2$ , $\text{Na}_2\text{CO}_3$ y $\text{FeCl}_3$ (optimización dosis carbonato sódico) |          |   |  |   |                                      |  |                                       |   |   |                              |
|--|----------|---|--|---|--------------------------------------|--|---------------------------------------|---|---|------------------------------|
| Nº experimento   | pH final | dureza cálcica (ml de edta 0,01 M añadidos) | dureza cálcica (mg/l $\text{CaCO}_3$ ) | dureza total (ml de edta 0,01 M añadidos) | dureza total (mg/l $\text{CaCO}_3$ ) | Alcalinidad (mg/l de $\text{CaCO}_3$ ) | $\text{Na}_2\text{CO}_3$ añadido (ml) | Concentración de $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (g/l) | conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | pH antes de descarbonat ació |
| 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                        |

