

**Informe prueba de estructuradores moleculares
sónicos en Torres de Refrigeración del Sistema
TCB de C.N. Almaraz**

PROYECTO: **Ingeniería CNA**

Informe

UNIDAD: **GENERACIÓN NUCLEAR (GENU)**

IDENTIFIC.: **18VK-FO-14.321962.00001**

REV.: **0**

FECHA: **14/01/2014**

ID CLTE:

ID SAP:

HOJA 1 DE 11

VERIFICACIÓN DE DISEÑO

Nivel 1

Nivel 2

No aplica

GARANTÍA DE CALIDAD NUCLEAR

Sí

C O N T R O L D E R E V I S I O N E S

<u>REV.</u>	<u>FECHA</u>	<u>MOTIVO</u>	<u>HOJAS REVISADAS</u>
0	14/01/14	Edición inicial	--

Preparado

RPLO

Revisado

JPLO/ASC

Verificado

-

Aprobado

MVR

ÍNDICE

1. OBJETO	3
2. ANTECEDENTES	3
3. ALCANCE	3
4. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA	3
5. SEGUIMIENTO DE LOS TRABAJOS	4
5.1 FASE 1: Sin EMS y sin carga térmica.	4
5.2 FASE 2: Con EMS y sin carga térmica.	6
5.3 FASE 3: Con EMS y con carga térmica.	8
5.4 FASE 4: Con EMS y torres paradas.	9
6. CONCLUSIONES	11
7. REFERENCIAS	11

1. OBJETO

El objeto del siguiente informe es el de recoger los resultados obtenidos en el test de mejora de las características del agua de un sistema de refrigeración con torres de tiro forzado de Central Nuclear Almaraz (CNA), mediante la aplicación de nanotecnología a través de la instalación de estructuradores moleculares sónicos (EMS).

La prueba se ha llevado a cabo instalando 3 conjuntos de EMS, en concreto:

- 1 en la TC-1-TR-B1 (nueva torre de tiro forzado del Sistema TCB U-1).
- 2 en las torres TC-1-TR-1 y TC-1-TR-2 (antiguas torres del Sistema TC).

2. ANTECEDENTES

Innovagua (como propietarios de los equipos), en colaboración con Iberdrola Ingeniería (como ingeniería de apoyo), ofrece a CNA la realización de una prueba gratuita mediante la instalación de EMS, para demostrar la mejora de las características del agua de refrigeración de los sistemas TCB y TC anteriormente mencionados.

CNA acepta llevar a cabo la prueba y que ésta se realizara entre mayo de 2011 y febrero de 2012 (período de análisis de los resultados)

3. ALCANCE

Este informe describe las pruebas, así como el seguimiento y análisis de los resultados obtenidos.

Los trabajos se estructuran en 4 fases diferenciadas, las cuales se describen a continuación:

- Fase 1: Sin EMS y sin carga térmica: Previo a la instalación de cualquier EMS, se realizó una inspección visual del estado de las incrustaciones calcáreas y de sedimentos que existen en las torres. Además, se tomaron datos de los consumos eléctricos de motores (bomba y ventiladores) y de las actuaciones de las válvulas de solenoide y de aporte.
- Fase 2: Con EMS y sin carga térmica: Se realizó inspección visual y toma de datos.
- Fase 3: Con EMS y con carga térmica: Se realizó inspección visual y toma de datos.
- Fase 4: Con EMS y torres paradas: Se realizó inspección visual.

4. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA

Para la ejecución de la prueba se siguieron los siguientes pasos:

En primer lugar la fabricación e instalación de los EMS:

- CNA instaló 1 EMS en una de las torres de refrigeración que componen el sistema TCB de la Unidad 1 (TC-1-TR-B1), y 2 EMS en algunas de las antiguas torres del sistema TC (TC-1-TR1 y TC-1-TR2).
- CNA instaló el sistema de anclaje que se utiliza para los 3 EMS del sistema TCB que consiste en una varilla rígida atornillada a una estructura fabricada en acero inoxidable.
- Los dos EMS del sistema TC, se anclaron a perfiles de las propias torres mediante cadenas.

CNA operó las torres de refrigeración para llevarlas a los puntos de adquisición durante el transcurso de la prueba y se encarga de dicho registro y toma de datos.

Los parámetros registrados durante la prueba son los siguientes:



- Velocidades de los motores de los ventiladores.
- Consumo eléctricos de las bombas de recirculación.
- Consumo eléctrico de los motores de los ventiladores.
- Ciclos de apertura/cierre de las válvulas de purga y aporte de la torre TC-1-TR-B1.
- Memoria fotográfica antes de la prueba, y seguimiento posterior para la evaluación de eliminación y reducción de incrustaciones.

5. SEGUIMIENTO DE LOS TRABAJOS

Las pruebas se iniciaron el 24 de abril de 2011 y se estructuran en varias fases, las cuales se describen a continuación:

5.1 FASE 1: Sin EMS y sin carga térmica.

Se tomaron lecturas de los parámetros en condiciones normales, antes de ser instalados los EMS, obteniéndose los siguientes datos de consumos eléctricos de bombas y ventiladores de las torres TC-1-TR-B1 y TC-1-TR-B2 (nuevo Sistema TCB):

 IBERDROLA Ingeniería y Construcción  innova	PRUEBA CON TORRES AISLADAS RESPECTO AL SISTEMA DE PLANTA (SIN CARGA TÉRMICA)											
	TC-1-TR-B1						TC-1-TR-B2					
	SIN EMS			CON EMS			SIN EMS			SIN EMS		
Vel. Ventiladores (rpm)	I _{TC-1-TR-B1R} (A)	I _{TC-1-TR-B1V1} (A)	I _{TC-1-TR-B1V2} (A)	I _{TC-1-TR-B1R} (A)	I _{TC-1-TR-B1V1} (A)	I _{TC-1-TR-B1V2} (A)	I _{TC-1-TR-B2R} (A)	I _{TC-1-TR-B2V1} (A)	I _{TC-1-TR-B2V2} (A)	I _{TC-1-TR-B2R} (A)	I _{TC-1-TR-B2V1} (A)	I _{TC-1-TR-B2V2} (A)
0	21'5	0	0				26'9/25'9/26'3	0	0			
-100-150	"	8'4	8'3				26'9/25'9/26'3	8'9	8'7			
-200-300	"	9'8	10'1				26'9/25'9/26'3	10'6	10'3			
-300-450	"	12'5	12'4				26'9/25'9/26'3	13	12'6			
-400-600	"	15'9	15'4				"	16'1	15'8			
-500-750	"	19'4	19'1				"	19'7	19'2			
-600-900	"	23'7	22'9				"	23'7	22'8			
-700-1050	"	27'5	26'8				"	27'8	27'1			
-800-1250	"	31'5	31'2				"	31'5	30'6			
-900-1550	"	34	35'7				"	36'3	35'4			
-1000-145	"	37'8	40'3				"	40'7	40'3			

Por otro lado, se realizaron fotografías a los rellenos y balsas de las torres del antiguo Sistema TC para el seguimiento de la evolución de los parámetros de control, en las que se observan claramente las incrustaciones existentes tanto en el relleno de las torres de refrigeración como en la balsa:

INCRUSTACIONES CALCÁREAS DURAS EN RELLENO DE TORRE DE REFRIGERACIÓN SISTEMA TC ANTIGUO SIN EMS INSTALADO



LODOS EN Balsa DE TORRE DE REFRIGERACIÓN SISTEMA TC ANTIGUO SIN EMS INSTALADO



Previo al inicio de los trabajos, se observa que las torres de refrigeración del nuevo Sistema TCB al ser nuevas, no poseen una cantidad sustancial de incrustaciones calcáreas, por lo que el efecto del tratamiento con EMS en lo que a eliminación y reducción de incrustaciones no será muy destacado a la vista.

Por el contrario las torres antiguas del Sistema TC, llevan en operación alrededor de 20 años, tienen mayor cantidad de incrustaciones acumuladas, por lo que el efecto del EMS será más fácil de observar.

Se instalaron en las torres anteriormente mencionadas los sistemas EMS en forma de campana que se muestran a continuación:



También se toman registros de las actuaciones de las válvulas de purga (TC-HV-5325B y TC-HV-5325A) y de aporte (TC-SV-5325A y TC-SV-5325B) de las nuevas torres del Sistema TCB (TC-1-TR-B1 y TC-1-TR-B2), antes y después de la instalación de los sistemas EMS. Cuyos resultados se muestran a continuación:

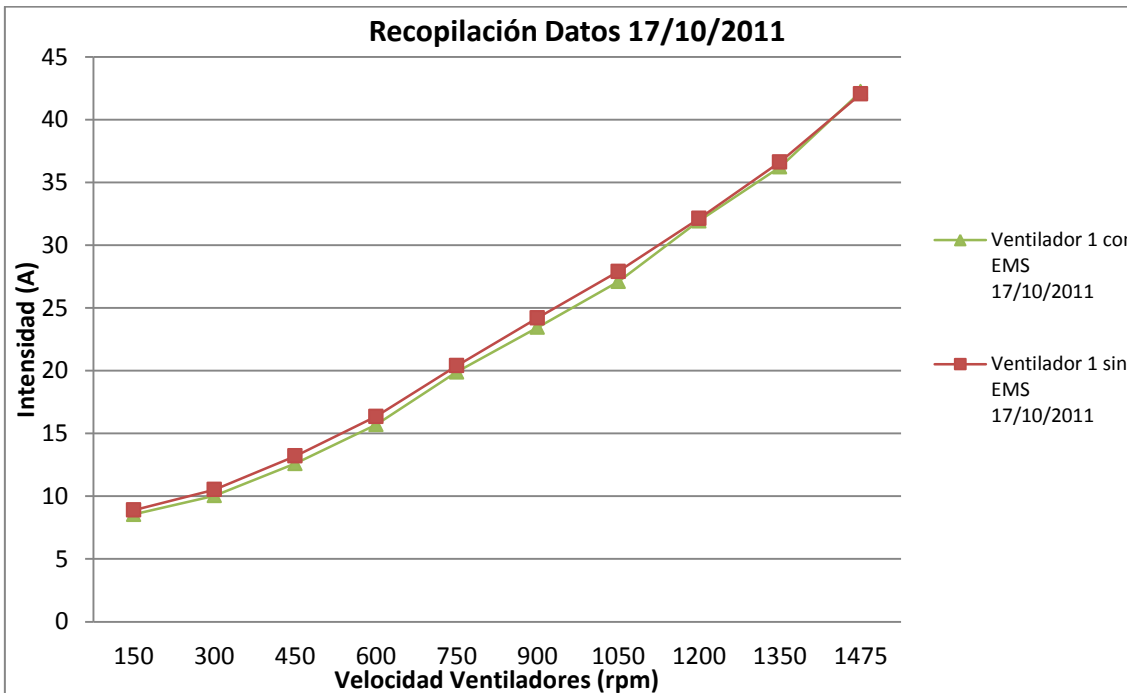
FECHA	Nº DE ACTUACIONES			
	VÁLVULA PURGA TC1-TR-B1 CON EMS TC-HV-5325B	VÁLVULA CARGA TC1-TR-B1 CON EMS TC-SV-5325B	VÁLVULA PURGA TC1-TR-B2 SIN EMS TC-HV-5325A	VÁLVULA CARGA TC1-TR-B2 SIN EMS TC-SV-5325A
24/04/2011	0,00	0,00	14,00	7,00
25/04/2011	8,00	4,00	8,00	3,00
26/04/2011	28,00	20,00	2,00	2,00
27/04/2011	12,00	12,00	11,00	6,00
28/04/2011	4,00	1,00	19,00	8,00
29/04/2011	13,00	11,00	4,00	7,00
30/04/2011	20,00	11,00	0,00	1,00
Nº TOTAL ACTUACIONES EN ABRIL	85,00	59,00	58,00	34,00

Observamos un mayor número de actuaciones en las válvulas de la torre con los EMS instalados (TC-1-TR-B1), esto se debe al aumento de conductividad del agua, por el desprendimiento inicial de incrustaciones que provocan los EMS en el sistema de refrigeración.

5.2 FASE 2: Con EMS y sin carga térmica.

El 31 de Mayo se procedió a tomar una nueva lectura de los parámetros:

Vel. Ventiladores (rpm)	PRUEBA CON TORRES AISLADAS RESPECTO AL SISTEMA DE PLANTA (SIN CARGA TÉRMICA)											
	TC-1-TR-B1						TC-1-TR-B2					
	SIN EMS			CON EMS			SIN EMS			SIN EMS		
	I _{TC-1-TR-B1R} (A)	I _{TC-1-TR-B1V1} (A)	I _{TC-1-TR-B1V2} (A)	I _{TC-1-TR-B2R} (A)	I _{TC-1-TR-B2V1} (A)	I _{TC-1-TR-B2V2} (A)	I _{TC-1-TR-B2R} (A)	I _{TC-1-TR-B2V1} (A)	I _{TC-1-TR-B2V2} (A)	I _{TC-1-TR-B2R} (A)	I _{TC-1-TR-B2V1} (A)	I _{TC-1-TR-B2V2} (A)
0	R:27,5 S:26,3 T:26,9	0	0				R:26,9 S:25,9 T:26,3	0	0			
150		8,4	8,3	27,1; 27,1 27,5	8	7,8		8,9	8,7	27,05; 26,2 26,1	8,6	8,3
300		9,8	10,1	28,1; 27,4 27,4	9,75	9,65		10,6	10,3	27,1; 26,3 26,1	10,3	9,82
450		12,5	12,4	28,7; 27,8 27,4	12,2	12,1		13,0	12,6	27,1; 26,2 26,1	12,86	12,32
600		15,9	15,4	28,1; 27,4 27,5	15,6	15,1		16,2	15,8	27,1; 26,1 26,1	15,7	15,3
750		19,4	19,1	26,7; 27,8 27,4	19,3	18,7		19,7	19,2	26,6; 25,9 25,8	19,9	19,1
900		23,7	22,9	28,7; 27,8 27,4	23,02	22,5		23,7	22,8	26,8; 26,1 25,9	23,2	23
1050		27,5	26,8	28,7; 27,8 27,5	27,7	26,2		27,8	27,1	26,7; 26,1 26,1	27,5	27
1200		31,5	31,2	28,7; 27,8 27,4	31,1	30,4		31,5	30,6	27,1; 26,8 26,7	31,4	30,87
1350		34,0	35,7	28,7; 27,8 27,4	35,7	34,8		36,3	35,4	27,1; 26,8 26,7	36,1	34,6
1500		37,8	40,3	28,7; 27,8 27,4	40,5	39,7		40,7	40,3	27,1; 26,8 26,4	40,65	39,97



En la gráfica anterior, referida al ventilador 1, se observa cómo para velocidades bajas, existe una pequeña disminución del consumo de intensidad para los valores medidos el 17/10/2011 de la torre de refrigeración con EMS respecto a la que no tiene instalado el sistema EMS. Aunque para altas revoluciones del ventilador esta diferencia de intensidades se hace cada vez más insignificante.

Los ventiladores poseen unos variadores de frecuencia que hace que éstos se ajusten a la demanda de temperatura de salida de las torres, por lo que, simplemente midiendo el consumo eléctrico no se pueden sacar resultados concluyentes sobre la mejora de la eficiencia de las torres. Para ello, habría sido necesario realizar una prueba de rendimiento pero no se disponía de los medios necesarios.

Respecto a las válvulas de purga y de aporte, se obtuvieron los siguientes datos en el mes de Mayo:

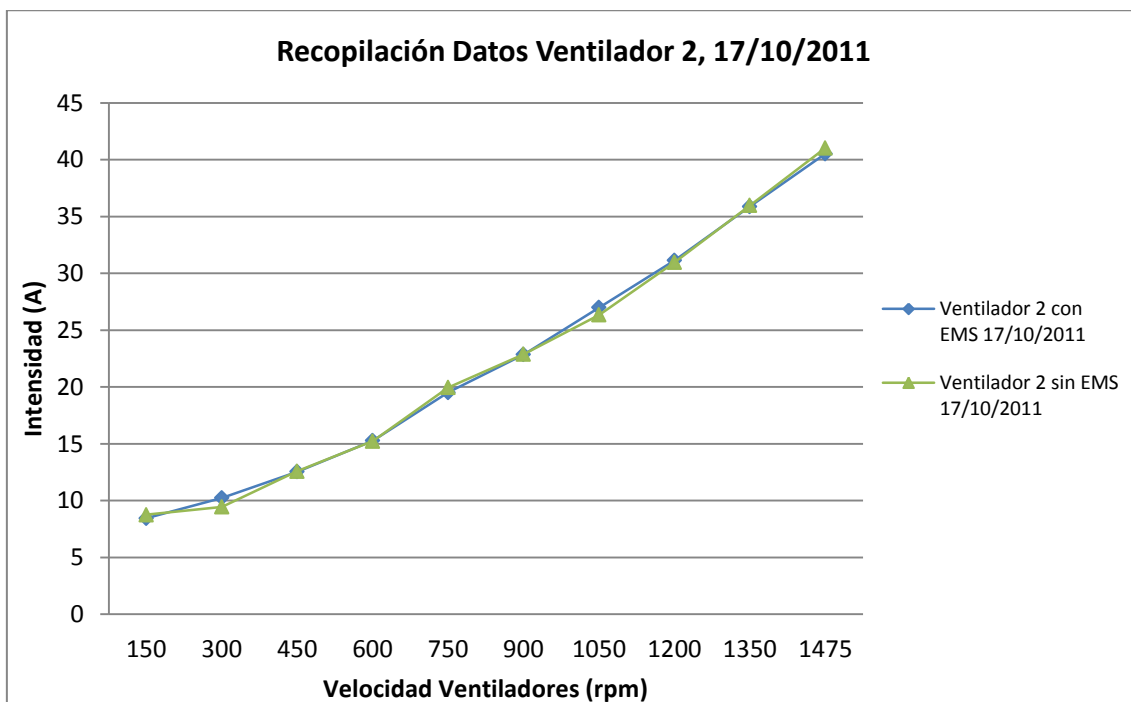
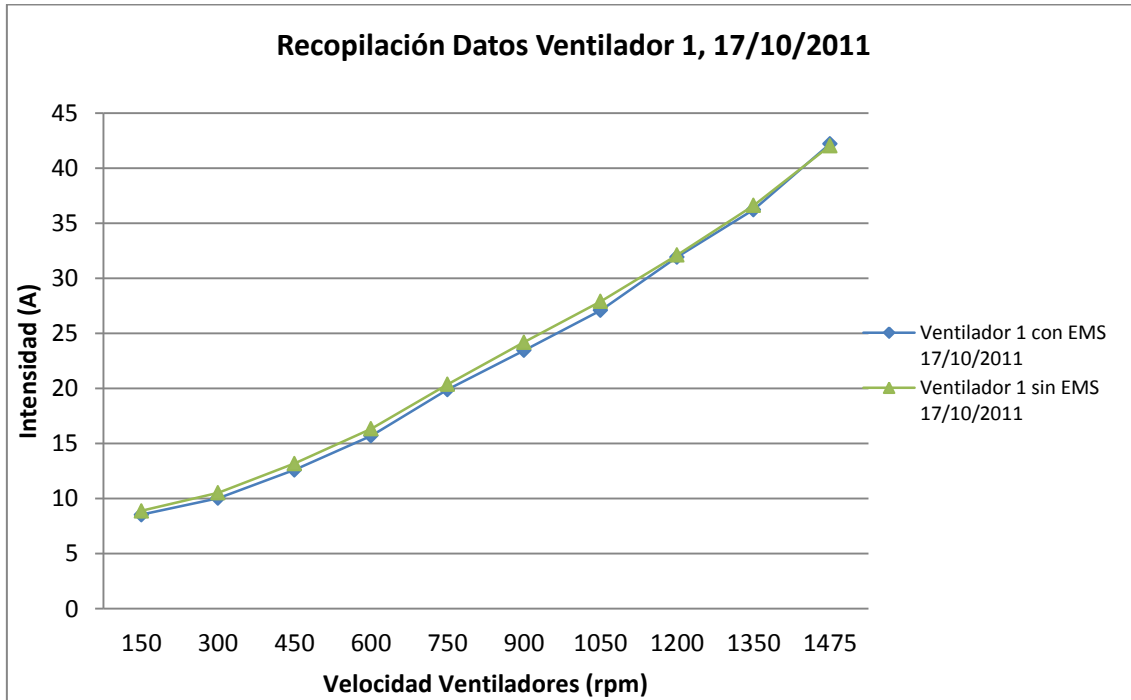
FECHA	Nº DE ACTUACIONES			
	VÁLVULA PURGA TC1-TR-B1 CON EMS TC-HV-5325B	VÁLVULA CARGA TC1-TR-B1 CON EMS TC-SV-5325B	VÁLVULA PURGA TC1-TR-B2 SIN EMS TC-HV-5325A	VÁLVULA CARGA TC1-TR-B2 SIN EMS TC-SV-5325A
01/05/2011	1,00	0,00	12,00	6,00
02/05/2011	1,00	1,00	12,00	10,00
03/05/2011	0,00	0,00	17,00	8,00
04/05/2011	12,00	10,00	11,00	7,00
05/05/2011	3,00	1,00	7,00	2,00
Nº TOTAL ACTUACIONES EN ABRIL	17,00	12,00	59,00	33,00

Se observa cómo el número de actuaciones en la torre con EMS ha disminuido considerablemente, mientras que en la torre sin EMS el número de actuaciones se mantiene igual que el mes anterior. Es por ello que podemos concluir que el sistema EMS proporciona una mejora de condiciones en el agua de refrigeración al no permitir que ésta alcance unos elevados niveles de conductividad. Esto es debido a que los clústeres de moléculas de agua son más pequeños.

5.3 FASE 3: Con EMS y con carga térmica.

El 17 de Noviembre de 2011, se procedió a la toma de datos correspondientes a la Fase 3 de la prueba, obteniéndose los siguientes resultados:

Vál. Ventiladores (rpm)	PRUEBA CON TORRES AISLADAS RESPECTO AL SISTEMA DE PLANTA (SIN CARGA TÉRMICA)											
	TC-1-TR-B1 400A = 11 25' A 11 25'						TC-1-TR-B2 400A = 11 25' A 11 37'					
	SIN EMS			CON EMS			SIN EMS			SIN EMS		
	Incremento (A)	Incremento (A)	Incremento (A)	Incremento (A)	Incremento (A)	Incremento (A)	Incremento (A)	Incremento (A)	Incremento (A)	Incremento (A)	Incremento (A)	Incremento (A)
0	R, S, T.	0	0	R, S, T.			R, S, T.	0	0	R, S, T.		
150	8,4	8,3	28,1, 27,4 27,2	8,55	8,44	11	8,9	8,7	27,2, 26,9 26,5	8,90	8,76	
300	9,8	10,1	28,2, 27,5 27,4	10,04	10,23	11	10,6	10,3	27,1, 26,7 26,5	10,53	9,45	
450	12,5	12,4	27,9, 27,3 27,1	12,61	12,54	11	13,0	12,6	27,1, 26,6 26,3	13,20	12,58	
600	15,9	15,4	27,7, 27,1 26,9	15,70	15,28	11	16,2	15,8	27,1, 26,7 26,4	16,35	15,23	
750	19,4	19,1	27,6, 27,5 27,2	19,90	19,51	11	19,7	19,2	26,9, 26,4 26,3	20,39	19,95	
900	23,7	22,9	27,6, 27,1 27,1	23,46	22,85	11	23,7	22,8	27,1, 26,5 26,4	24,21	22,88	
1050	27,5	26,8	27,5, 27,1 26,9	27,10	26,99	11	27,8	27,1	27,1, 26,6 26,5	27,91	26,34	
1200	31,5	31,2	27,6, 27,2 27,2	31,94	31,13	11	31,5	30,6	27,1, 26,7 26,5	32,12	30,97	
1350	34,0	35,7	27,7, 27,3 27,3	36,23	35,88	11	36,3	35,4	27,2, 26,5 26,5	36,63	35,98	
Nº FES 1500	37,8	40,3	27,8, 27,4 27,3	42,22	40,53	11	40,7	40,3	27,8, 26,9 26,8	42,05	41,04	



Al igual que sucedió durante la toma de datos de la Fase 2, no es posible demostrar mediante esta prueba los beneficios, en cuanto a consumo eléctrico se refiere, que la utilización de los EMS reporta.

5.4 FASE 4: Con EMS y torres paradas.

Por último se hizo un reportaje fotográfico el 2 de Febrero de 2012, en el cual se constataron como el agua tratada mediante el sistema de EMS reducía y/o eliminaba incrustaciones y sedimentos en forma de lodo en las torres de refrigeración, principalmente en las del antiguo Sistema TC, ya que estas se encontraban en peores condiciones.

INCRUSTACIONES CALCÁREAS EN FORMA DE POLVO EN RELLENO DE TORRE DE REFRIGERACIÓN SISTEMA TC ANTIGUO CON EMS INSTALADO



En el antiguo Sistema TC se observó que las incrustaciones existentes en los rellenos de las torres habían disminuido, ya que la consistencia de las mismas no era en forma de costra dura sino que tan sólo permanecía una fina capa de polvo adherido a las láminas.

LODOS EN Balsa DE TORRE DE REFRIGERACIÓN SISTEMA TC ANTIGUO CON EMS INSTALADO



Respecto a los sedimentos en las balsas de estas torres de refrigeración, se apreció que prácticamente habían desaparecido y que las pocas que persistían, tenían una mayor hidratación, lo cual permitía que se pudieran retirar más fácilmente.

6. CONCLUSIONES

Después de las pruebas realizadas, podemos afirmar que:

- El agua tratada mediante EMS evita la aparición y reduce la existencia de incrustaciones calcáreas en los rellenos de las torres de refrigeración.
- No ha sido posible demostrar, de forma contundente, la reducción de los consumos eléctricos en ventiladores y bombas.
- Respecto a los resultados obtenidos de las válvulas de purga y de aporte de una de las torres del nuevo Sistema TCB con EMS instalados, se ha podido demostrar una reducción en las aperturas de la válvula de purga debido a la reducción de la conductividad del agua.

En un primer momento se observó que las actuaciones de la válvula de purga eran más frecuentes, pero esto es debido a que el agua tratada con EMS, al ser más reactiva, provoca un desprendimiento de las incrustaciones existentes, y por lo tanto, el agua de la balsa ve aumentados sus niveles de conductividad, por lo que es preciso renovarla mediante entrada de agua “fresca” y purga de la existente. Una vez este fenómeno se estabiliza, el número de actuaciones de la válvula de purga disminuye sensiblemente, lo que demuestra la mejora de condiciones del agua del sistema de las torres.

7. REFERENCIAS

- *Procedimiento de instalación y prueba de estructuradores moleculares sónicos en Torres de Refrigeración del Sistema TCB de C.N. Almaraz (22611-GN164M-PM-11.003844.00001 Rev.1)*

NOTA: *Este procedimiento de prueba se preparó con el objeto de servir como documento soporte para la ejecución paso a paso de las mediciones a realizar, incluyendo puesta en servicio de las diferentes torres de refrigeración.*

Muchos de los pasos reflejados en la check list de dicho procedimiento no se llegaron a cumplimentar ya que las torres de refrigeración ya se encontraban alineadas para la toma de datos.