

**X Congreso Latinoamericano de Patología y XII Congreso de Calidad en la Construcción.
CONPAT 2009. Valparaíso-Chile.
29 de Septiembre al 2 de Octubre**

Diagnóstico de la variación del coeficiente de rugosidad en una tubería a presión

Vicente Alegre ¹ y ², Antonio Aguado ²

¹ COTCA. Calle Tuset, 8, 08006 Barcelona. España 932187146 / Fax 934152365. info@cotca.com

² Universidad Politécnica de Cataluña. Calle Jordi Girona, 1-3. Módulo C1-202. 08034. Barcelona. España. 934016507. antonio.aguado@upc.edu

RESUMEN

El minitrasvase del río Ebro lleva más de 20 años en funcionamiento, y su explotación la lleva a cabo el Consorci d'Aigües de Tarragona (CAT) (España). Desde el punto de vista hidráulico se había detectado, durante la explotación de la instalación, que en algún tramo el coeficiente de rugosidad es $k = 1,25$ e incluso algo mayor hasta 1,5, y en otros $k = 0,5$, sin conocer bien las causas por lo que se deseaba profundizar en el análisis de las mismas.

Aprovechando que durante el mes de mayo de 2005 se realizaron unos cortes en la tubería, como resultado de haber sido un servicio afectado en la construcción de unas obras para una central de ciclo combinado en Vandellós (España), se organizaron diversas visitas al interior de la tubería para poder observar su estado (No es usual disponer de oportunidades de ese tipo) y realizar un estudio para analizar las causas de la variación del coeficiente de rugosidad.

Palabras claves: tubería a presión, coeficiente de rugosidad, variación en el tiempo, lodos, diferencias de comportamiento.

1. INTRODUCCION

El tema de la rugosidad en tuberías está ampliamente estudiado y conocido, ya que influye en el cálculo de las pérdidas, Kovacs y Vivar (1991), pudiendo variar en función del tiempo y de los depósitos, Martínez y Fernández (2005). Así, según Apilánez *et al.* (1998), la biopelícula que se origina crece sobre cualquier superficie en contacto con el agua hasta alcanzar un espesor ideal.

La pérdida de carga que se produce en la conducción de un fluido con cierto contenido de sólidos en suspensión depende de las propiedades del fluido y de las características del flujo y de la conducción, habiéndose observado que las pérdidas de carga aumentan con el contenido de sólidos, con la mayor presencia de materia volátil y con la disminución de la temperatura. Ortiz y Carmona (2001). Estos fluidos tienen un comportamiento similar al del agua clara, sin embargo, en algunas ocasiones se comportan como si fuesen no newtonianos (Turian *et al.*, 1998).

En cualquier caso hay que señalar que, usualmente, no se disponen de datos reales procedentes de instalaciones bien instrumentadas y documentadas, con una información accesible, por lo que la aportación de la presente comunicación puede ser de interés desde ese punto de vista. La misma es resultante de una experiencia real sobre una tubería a presión de diámetro interior de 1600 mm. Dicha tubería se sitúa en el minitrasvase del río Ebro a la ciudad de Tarragona (España), habiéndose sido construida en 1988. Durante la explotación se había observado diferencias de pérdidas de carga en distintos tramos, si bien no se había podido estudiar *in situ* la razón de ese comportamiento por las necesarias condiciones de explotación continua de la instalación. Una sustitución parcial de un tramo ha dado la oportunidad de ese estudio.

El **objeto** de la presente comunicación es explicar los trabajos realizados para llevar a cabo el diagnóstico, definiéndose las causas y las predicciones ante el nuevo tramo construido en sustitución al estudiado, cara a predecir el comportamiento futuro del mismo.

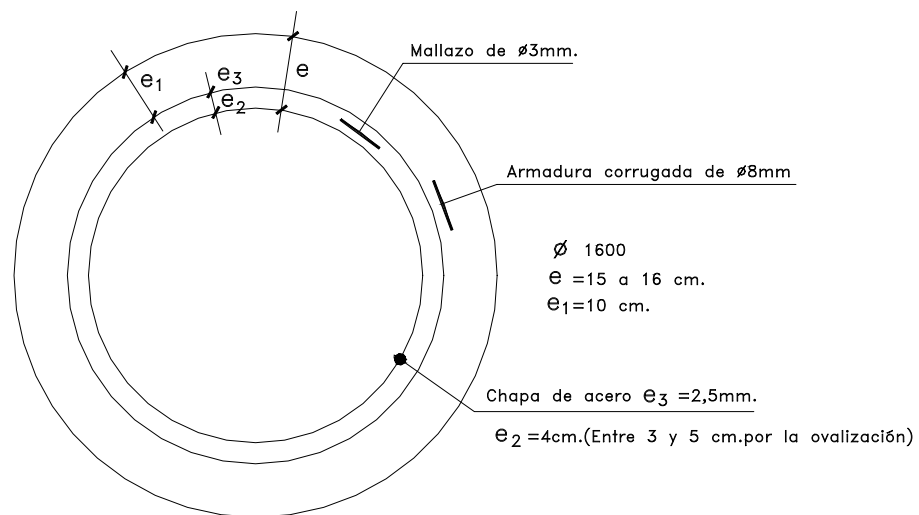
2. DESCRIPCIÓN DE LA TUBERÍA. TOMA DE DATOS

En cualquier circunstancia, para un diagnóstico, es importante una inspección visual de las zonas que presentan daños y de otras zonas realizadas en condiciones similares (Araujo, 2008). En este caso esto viene potenciado por las condiciones de explotación (tiempo, circunstancias de obra, espacio para equipos, etc.) que dificultaban la obtención de muestras destructivas o parcialmente

destructivas. Por esta razón se realizaron diversas visitas entre el 3 y 18 de mayo de 2.005, en las cuales se inspeccionaron dos tramos de tubo.

-) El tramo de tubo entre el punto kilométrico (PK) PK 24.550 (en metros) y el PK 24.850 que se encuentra en la hoja 19 del plano 1 de proyecto, que totalizan 43 tramos de tubería, con un total de 300 metros (3 y 6 de mayo en condiciones húmedo y seco, respectivamente).
-) El tramo de tubo en la zona situada en las proximidades de las oficinas del Consorci d'Aigües de Tarragona que son tres tramos de tubo de 0,45 m; 6,30 m y 6,09 m, y que totalizan 12,8 m de tubería de 1600 (18 de mayo en condiciones húmedo).

En la sección adjunta, figura 1, se indican las principales características de la tubería inspeccionada, con longitudes de los tubos entre 6,30 y 7 m., que según la información verbal transmitida, los tubos podían proceder de diferentes fabricantes, lo cual puede ser razonable en función de las circunstancias iniciales de la obra, especialmente, plazos cortos de ejecución.



Longitudes de los tubos entre 6,30 y 7,00 metros

Figura 1.- Características principales de la tubería

Durante las visitas de los días 3 y 6 de mayo se pudieron inspeccionar 40 tubos (ver figura 2), el tubo 41 contenía una válvula de mariposa, y una salida al exterior, y el tubo 43 y último estaba cortado en su final para el empalme. La numeración de los tubos inspeccionados responde al siguiente criterio: el tubo 1 se sitúa al principio del tramo en el P.K. 24.550 mientras que el tubo

43 se sitúa al final del tramo en el P.K. 24.850. En la citada figura 2 puede verse la cota topográfica del terreno y de la canalización.

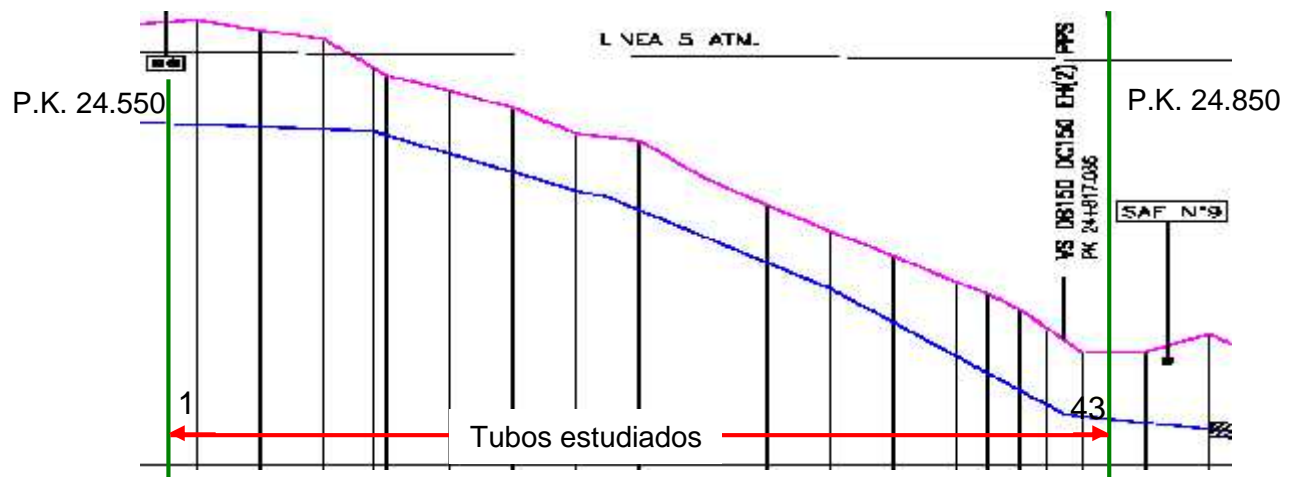


Figura 2.-Tubos estudiados en el tramo entre P.K. 24.550 y P.K. 24.850

Los datos reflejados durante la inspección se presentan en la tabla 1. En ella se utiliza la nomenclatura de los tubos y se incorporan otros datos. Entre ellos: número de fisuras, existencia o no de estrías, reguero de óxidos, grumos en junta, zonas con los limos más lavados.

) Número de fisuras:

Las fisuras son según un paralelo de los tubos, esto es, dispuestas en un plano perpendicular a la dirección de avance del agua. La longitud de las mismas suele corresponder a todo el perímetro, aunque se refleja más en la zona superior de la tubería. El número señala las fisuras que aparecen en cada tubo. En la figura 3 puede verse un ejemplo de estas fisuras.



Figura 3.- Fisuras según paralelos del tubo

Tabla 1.- Datos registrados durante la inspección de cada tubo

Nº tubo	Nº de micro fisuras	Estrías	Reguero de óxido	Grumos en junta	Zona con el limo más lavado	Observaciones
40	6	NO	SI	SI	80 cm (40+40)	
39	7	NO	SI	NO		
38	8	SI	SI	NO		
37	7	SI	SI	NO		
36	6	NO	SI	SI		
35	6	SI	SI	SI		
34	8	SI	SI	NO		
33	6	NO	SI	NO		Sellado con resina
32	10	SI	SI	NO		
31	7	NO	SI	NO	Tratamiento superficial en el tubo	
30	6	NO	SI	SI (2)	90 cm (45+45) 40 cm árido lavado	
29	7	SI	SI	SI (2)	Defecto de encofrado longitudinal	
28	7	NO	SI	SI		
27	7	SI	SI	SI (6 blancos)		
26	9	NO	SI	SI (4 blancos)		
25	6	SI	SI	SI (4 blancos)	90 (45+45) 70 cm árido lavado	
24	6	NO	SI	SI	Humedad en la junta entre 24 y 25	
23	7	NO	SI	SI		
22	6	NO	SI	NO		
21	6	SI	SI	SI		
20	5	NO	SI	SI	85 (55+30) 40 cm árido lavado	
19	6	NO	SI	NO		
18	5	NO	NO	NO	Entre 17 y 18 humedad en junta en dos puntos	
17	4	NO	NO	NO	100 (75+25)	Entre 16 y 17 humedad en la junta en 1 punto
16	6	SI	NO		Cambio de encofrado a 1 m del final	
15	5	NO	NO	SI (2)	100 (75 + 25) árido lavado 45 cm	
14	7	NO	NO	SI (4 blancos inferiores)		
13	9	SI	NO	SI	Resalte en el mortero de junta	
12	7	NO	NO	SI (3)		
11	8	NO	NO	SI (1)	Entre 11 y 12 : poro de agua en la base	
10	6	SI	NO	NO	100 (70+30) árido lavado 30 cm	
9	2	NO	NO	SI (1)		
8	14	SI	NO	Si (2 blancos)		
7	7	NO	NO	NO	Con resina en algunas fisuras	
6	7	NO	NO	SI (2 blancos)		
5	4	SI	NO	SI (2)	163 (100+63) árido lavado 50 cm	
4	7	SI	NO	SI (4)		
3	9	NO	NO	SI (2)		
2	3	SI	NO	SI (2)	205 (105+100) árido lavado 55 cm	
1	5	NO	NO	SI	200 (100+100)	

) Estrías:

Las estrías se disponen en la dirección del flujo y se reflejan bien en estado seco. Parece responden a algún tipo de arrastre que deja huella en los lodos adheridos en las paredes del tubo. En la figura 4 puede verse un ejemplo de estas estrías



Figura 4.- Estrías según meridianos del tubo

) Reguero de óxido:

Los regueros de óxido se disponen en la dirección del flujo y se reflejan bien en estado húmedo. Parece responden a algún tipo de arrastre que deja huella en los lodos adheridos en las paredes del tubo. En la figura 5 puede verse un ejemplo de estos regueros de óxido.



Figura 5.- Reguero de óxido según meridianos del tubo en seco y húmedo

) Grumos en las juntas:

Estos grumos se disponen en algunas de las juntas de los tubos. Parece responden a pequeños defectos en los tratamientos de estas juntas. En la figura 6 puede apreciarse un ejemplo de este efecto.

)] Zonas lavados de limos: (Figura 7)

Las incrustaciones de limos tienen diferentes huellas a lo largo del recorrido de la tubería. La anotación de la tabla refleja la distancia respecto al meridiano más bajo de la tubería.



Figura 6.- Grumos en una junta

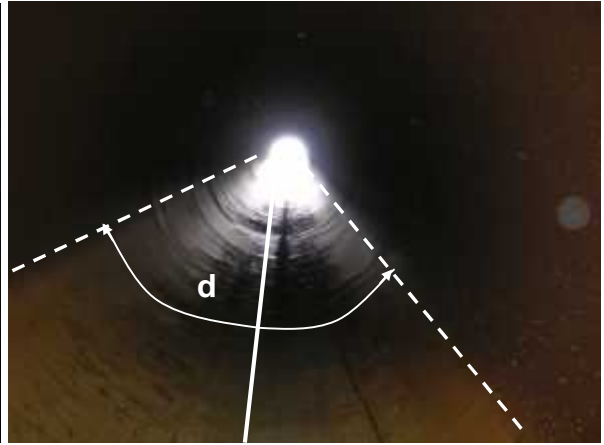


Figura 7.- Zonas diferenciales de lavado de limos

En dichos tubos se extrajeron muestras de las incrustaciones que existen en el perímetro, se catalogaron el número de fisuras circunferenciales de retracción que existían y donde se depositaban las cales lixiviadas del cemento, y se indicaron que tubos tenían estrías marcadas y en donde se apreciaba un reguero de óxido, o donde había (ver tabla 1). De los datos tomados, aparte de lo reflejado en la tabla 1 se consideran reseñables las siguientes incidencias:

-)] Las humedades en juntas 11-12; 17-18 y 24-25 pueden ser debidas a fugas puntuales
-)] De la tubería 19 a la 40 hay un reguero de material color óxido
-)] Se marcan estrías de lechada en 16 de los 40 tubos
-)] Aparece alguna incrustación de una lámina de plástico en algún punto. Parece una actuación de reparación puntual de un pequeño defecto en fase de construcción (Figura 8).



Figura 8.- Incrustación de plástico en cara interior tubería

-) Hay sellado de fisuras con resina en las tuberías 7, 32, 33 y 34
-) En el tubo 34 se encontró óxido bajo la resina
-) La resina pierde adherencia en algunos puntos
-) En la base del tubo hay entre 30 a 55 cm de superficie donde el lavado de la lechada de cemento superficial permite ver los áridos
-) Los desarrollos de superficie inferior con el limo más lavado son:

- Tubo 1 a 4	1 + 1 m	- Tubo 20 a 24	0,55 + 0,3 m
- Tubo 5 a 9	1 + 0,63 m	- Tubo 25 a 29	0,45 + 0,45 m
- Tubo 10 a 14	0,7 + 0,3 m	- Tubo 30 a 34	0,45 + 0,45 m
- Tubo 15 a 19	0,7 + 0,25 m		
-) En el tubo 42, en el que se dispone de una válvula que interfiere en el régimen, el lavado de limos es en la zona superior en lugar de la zona inferior como es lo usual y se refleja en los datos anteriores y en la figura 9.

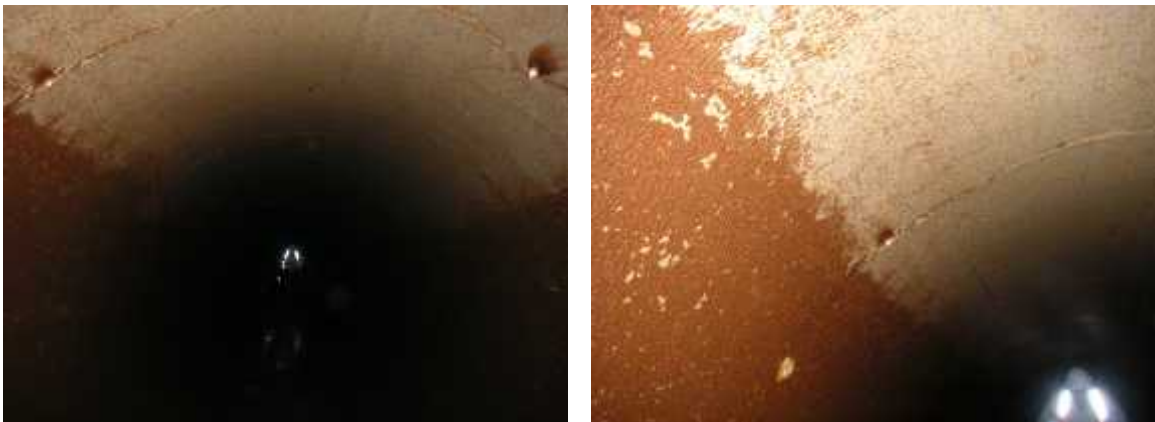


Figura 9.- Lavado zona superior en zona de válvula. Tubo 42

-) La carbonatación superficial que no se detectaba en húmedo, se detectó en seco a los 3 días, si bien la penetración de la misma es mínima.

Extracción de muestras para ensayo

Para su posterior análisis en laboratorio de los espectros de difracción y eflorescencias se recogieron muestras en polvo (ver figura 10), en diferentes localizaciones, de los siguientes materiales:

-) Limo inferior en el tubo 1
-) Árido fino caído de la bóveda de los tubos 2 y 3
-) Grumo blanquecino de unión tubos 1 y 2
-) Grumos de lechada del tubo 2

- J Resina des-adherida y depósito inferior
- J Lixiviaciones blancas de cal de tramos 2 y 3
- J Manchas de óxido (tubo 27)
- J Trozo de hormigón próximo al corte (tubo 1)
- J Trozo de óxido depositado en la tapadera del tubo 41



Figura 10.- Muestras en polvo para los ensayos de difracción y eflorescencias

3. RESULTADOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS DE LOS MISMOS

Los resultados obtenidos en las diferentes muestras de materiales no muestran comportamientos significativos que pudiesen explicar la mayor rugosidad y, consecuentemente, mayores pérdidas de la zona analizada. La inspección visual, entre otras consideraciones, permitió ver diferencias de la huella en el lavado de los limos, tal como se refleja en la figura 7 anteriormente presentada. Por otro lado, tampoco los resultados de los análisis de aguas aportados por la empresa señalan nada relevante que puedan explicar las diferencias de rugosidad existente en tramos

A la luz de estas evidencias, donde sólo marca diferencias la diferente huella en el lavado de los limos, se plateó una **1ª hipótesis de trabajo**:

A mayor inclinación de la tubería (en pendiente negativa), mayor es la superficie cubierta por los limos y, al contrario, cuanto menor es la pendiente, menor es la superficie cubierta por limos.

Esta hipótesis tiene su reflejo en los resultados presentados en la tabla 2, la cual constituye un extracto de los mismos, en lo que corresponde al tramo principal analizado.

Tabla 2.- Distancias y pendientes relativas del tramo en estudio

Tramo	% Pendiente	PK inicial	PK final	Distancia relativa	% pendiente x dist. Relat.	Por tramos positivos/negativos
1	0,23	22545,649	22690,116	144,467	33,227	033,227
2	-20,59	22690,116	22720,656	30,540	-628,819	-702,298
3	-2,84	22720,656	22746,529	25,873	-73,479	
4	32,44	22746,529	22768,911	22,382	726,072	726,857
5	0,007	22768,911	22881,086	112,175	00,785	
6	-5,44	22881,086	22931,086	50,000	-272,000	-272,000
7	7,79	22931,086	22991,086	60,000	467,400	978,009
8	2,72	22991,086	23025,628	34,542	93,954	
9	6,65	23025,628	23065,650	40,022	266,146	
10	3,52	23065,650	23104,134	38,484	135,464	
11	0,28	23104,134	23157,866	53,732	15,045	
12	-7,87	23157,866	23185,649	27,783	-218,652	-604,780
13	-1,18	23185,649	23265,534	79,885	-94,264	
14	-7,08	23265,534	23290,523	24,989	-176,922	
15	-1,53	23290,523	23365,648	75,125	-114,941	
16	0,17	23365,648	23385,650	20,002	03,400	2752,136
17	1,96	23385,650	23462,650	77,000	150,920	
18	12,15	23462,650	23509,294	46,644	566,725	
19	1,65	23509,294	23574,106	64,812	106,940	
20	1,52	23574,106	23665,645	91,539	139,139	
21	1,28	23665,645	23795,641	129,996	166,395	
22	13,76	23795,641	23839,637	43,996	605,385	
23	3,55	23839,637	23875,650	36,013	127,846	
24	0,28	23875,650	23945,650	70,000	19,600	
25	0,28	23945,650	24100,602	154,952	43,387	
26	5,67	24100,602	24245,646	145,044	822,399	-3335,512
27	-3,00	24245,646	24335,536	89,890	-269,670	
28	-41,01	24335,536	24347,393	11,857	-486,256	
29	-0,56	24347,393	24601,242	253,849	-142,156	
30	-4,44	24601,242	24665,632	64,390	-285,892	
31	-3,28	24665,632	24675,631	09,999	-32,797	
32	-6,25	24675,631	24745,931	70,300	-439,375	
33	-8,19	24745,931	24819,929	73,998	-606,044	
34	-2,03	24819,929	24897,080	77,151	-157,616	
35	-4,36	24850,000	24922,841	72,841	-317,587	
36	-0,53	24922,841	25132,841	210,000	-111,300	1615,400
37	-10,13	25132,841	25207,841	75,000	-759,750	
38	1,60	25207,841	25282,841	75,000	120,000	
39	0,30	25282,841	25432,841	150,000	45,000	
40	5,83	25432,841	25462,841	30,000	174,900	
41	0,35	25462,841	25632,841	170,000	59,500	2008,698
42	6,40	25632,841	25822,841	190,000	1216,000	
43	-4,25	25822,841	25962,841	140,000	-595,000	-595,000
44	7,50	25962,841	26227,025	264,184	1981,380	2008,698
45	0,51	26227,025	26280,590	53,565	27,318	

En ella puede verse que el tramo de mayor peso (longitud por pendiente negativa) es el que se corresponde con el tramo en estudio (marcado en rojo), por lo que esa 1ª hipótesis quedaría confirmada.

Ahora bien, esta hipótesis en si misma carece, en cierta medida, de base desde el punto de vista hidráulico, Dolz (2005), por lo que se procedió a establecer una **2ª Hipótesis de Trabajo:**

A mayor cota de la tubería, mayor es la superficie cubierta por los limos y, al contrario, cuanto menor es la cota, menor es la citada superficie.

Por ello, en la reunión conjunta con los técnicos del Consorci d'Aigües de Tarragona (CAT), mantenida en sus instalaciones el día 15 de junio del año 2005, se requirió los datos correspondientes de la tubería hasta la mitad de la longitud de la misma. Con dichos datos se procedió de forma similar a lo planteado con anterioridad en la tabla 2

Los resultados detallados no se presentan dada la dimensión de la misma. En esos resultados puede verse que el tramo en estudio (tramos 381 al 391) junto a los tramos próximos (406 al 405) son los que mayor peso tienen en cuanto a cotas y longitud del tramo con mayor pendiente (longitud x pendiente). Estos tramos se sitúan prácticamente en los puntos más altos del trazado y en final de los mismos (tramo 422). Se dispuso, con posterioridad a la obra inicial, de una estación de bombeo intermedia.

Ello puede dar lugar a que en esa zona (cotas altas de la tubería) exista algo de aire, con formación de pequeñas turbulencia a nivel de capa de milímetros en contacto con la tubería y, que ello favorezca el depósito de los lodos que se adhieren a la tubería. Estos depósitos son mayores cuando la pendiente es mayor, tal como se ha dicho en la 1ª hipótesis de trabajo.

De las **tomas de muestras** se han realizado tomas de muestras de agua (cuyos resultados no son relevantes para el diagnóstico), tres **fluorescencias** de las muestras: M-118, M-121 y M-127 y once **difracciones** que se señalan a continuación, con las siguientes referencias:

- M-117. Corresponde a la deposición de la parte superior del tubo, una vez caída cuando se ha secado
- M-118. Corresponde al depósito de la parte inferior del tubo
- M-119. Incrustaciones blanquecinas en la junta
- M-120. Incrustaciones blanquecinas en las fisuras circunferenciales de los tubos
- M-121. Material depositado debajo de la capa de resina, cuando ésta se desadhiere.
- M-123. Lixiviaciones blancas en fisuras
- M-124. Manchas de color ocre en el tubo 27

M-125. Muestra del tubo de hormigón (interior)

M-126. Muestra del tubo de hormigón (exterior)

M-127. Muestra de óxido a modo de estalactita en la tapadera de acero próxima a la válvula

Las muestras sólidas se analizaron mediante un equipo de difracción de rayos X Seifert modelo JSO-DEBYEFLEX 2002, provisto de un anticátodo de cobre y un filtro de níquel para comprobar su mineralogía y mediante un espectrómetro de fluorescencia Philips PW1480 para conocer su composición química.

A manera de ejemplo, en la figura 11 y en la tabla 3 se presentan los resultados de la muestra M-118, tanto de los ensayos de difracción como de fluorescencias. Estos resultados indican que la muestra está compuesta por calcita, dolomita, cuarzo y feldespato (reflexiones no marcadas en el espectro). Además (véase análisis mediante fluorescencia de rayos X) compuestos amorfos de hierro y aluminio.

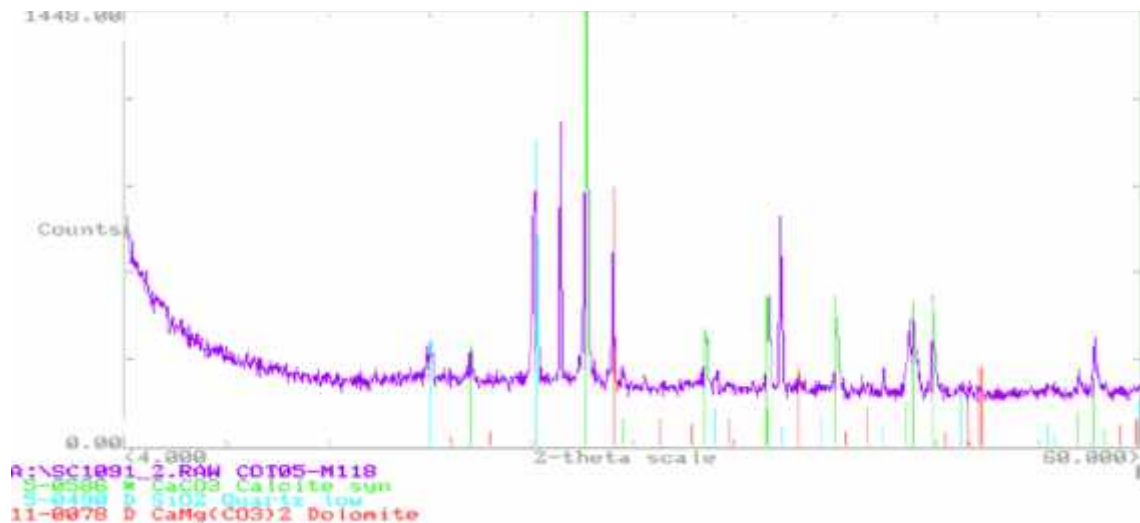


Figura 11.-Resultados de difracción de la muestra M-118

Tabla 3.- Resultados de fluorescencia de la muestra M-118

(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Mg	MgO	2,361	K	K ₂ O	0,865	Cu	CuO	0,104	Zr	ZrO ₂	0,041
Al	Al ₂ O ₃	14,627	Ca	CaO	45,079	Zn	ZnO	0,096	Ba	BaO	0,052
Si	SiO ₂	19,373	Ti	TiO ₂	0,586	As	As ₂ O ₃	0,016	Pb	PbO	0,030
P	P ₂ O ₅	1,323	Mn	MnO	1,157	Sr	SrO	0,191	Cl	Cl	0,265
S	SO ₃	0,665	Fe	Fe ₂ O ₃	13,120	Y	Y ₂ O ₃	0,007	Br	Br	0,045

(1) Analito (2) Fórmula compuesto (3) Concentración en %

De todos estos resultados se deduce que:

-) El material de la parte inferior y superior que se deposita en el tubo, tiene la misma composición.
-) Las fisuras circunferenciales de retracción tienen incrustaciones de calcita, que tapan la fisura, como consecuencia de la lixiviación de las cales del cemento.
-) El hormigón de la parte interior y exterior del tubo separados por el tubo de acero, son del mismo tipo.
-) Otros componentes detectados (Al, Mn, ...) corresponden a tratamientos realizados al agua, unos con anterioridad y otros actualmente.
-) El color “terroso” general, aunque existen componentes ferrosos en varios casos, no parece obedecer a esa causa, y podría ser consecuencia de la colmatación en alguna ocasión de los filtros de arena.
-) No se constata la presencia en el perímetro del tubo de ningún material anómalo.

Así pues, la diferencia de rugosidad en los tramos, no obedece a las características del hormigón de las tuberías, sino que responde a la diferente rugosidad que aportan los lodos adheridos al hormigón traducido en distintas superficies función de la cota y la pendiente de la tubería. Todo lo anterior seguiría sin explicar el color de los lodos. El mismo puede venir dado por 3 factores:

-) Oxidación de elementos metálicos
-) Transporte regular del agua con lodos en suspensión
-) Transporte excepcional de lodos en el agua.

Con respecto a la oxidación de elementos metálicos, parece una hipótesis poco probable, ya que quedarían mayores restos en zonas de compuertas (lo que no se aprecia de forma significativa) o bien afectarían a un área más local (estos lodos se han apreciado en los dos tramos visitados distantes varios kilómetros entre sí). Además, en los continuos controles existentes, se habría detectado ese problema, por lo que se descarta esta hipótesis.

Respecto a la hipótesis de que el agua se transporte regularmente con lodos en suspensión, asimismo, parece poco probable, dado los tratamientos que se produce en las instalaciones de la toma. Esto además debería apreciarse en los resultados de los distintos controles realizados al agua.

Así pues la hipótesis más probable es que excepcionalmente se haya transportado agua con lodos, lo que podría ser consecuencia de una entrada irregular en cabecera en una avenida del río Ebro.

Ello explicaría el carácter global de la coloración de los lodos adheridos en toda la longitud de la tubería y, en especial, en los tramos estudiados que se han podido inspeccionar.

4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una valoración global de los tubos inspeccionados refleja un buen estado de los mismos desde el punto de vista del hormigón, tanto mecánico como desde el punto de vista de la durabilidad del mismo, no siendo estas las causas principales de la diferente rugosidad. En base a los trabajos realizados se pueden plantear las siguientes **conclusiones principales**:

-) La causa principal para explicar la diferencia de rugosidad es la diferente extensión de los lodos adheridos a la superficie interior de la tubería de hormigón.
-) La extensión de la superficie adherida con lodos aumenta con la cota de la tubería y con la pendiente de la misma.
-) El color marrón de la superficie adherida parece consecuencia de un tránsito extraordinario de lodos en suspensión arrastrados por el agua.
-) Los resultados de los ensayos de identificación de los componentes mineralógicos mediante difracción y/o fluorescencia de rayos x de diversas muestras tomadas durante la visita, no aportan elementos relevantes para explicar el fenómeno observado, mostrando por otro lado, una respuesta típica de la explotación de una tubería de estas características. Asimismo, tampoco han sido relevante los resultados de las muestras sistemáticas de agua

La **recomendación** que se deriva de la conclusión última es que se debe analizar, entre la documentación histórica de la explotación de la instalación si se ha producido algún evento extraordinario que avale esta hipótesis, ya que de no cumplirse habría que verificar en mayor detalle los análisis rutinarios del agua en busca de un elemento que contribuya a la coloración generalizada en la tubería.

El cambio de trazado en planta, previsiblemente, no repercutirá sobre el tema de pérdidas estimándose que, en situación de régimen estacionario de explotación por el nuevo trazado (como no cambia de forma importante tanto cotas como pendientes), los resultados esperables serán similares a los actuales.

En este sentido, la colocación de una estación intermedia de bombeo, aparte de otras razones hidráulicas, es un acierto ya que permite obtener información adicional del comportamiento de la tubería en lo que hace referencia a la rugosidad de la misma.

5.- REFERENCIAS

Apilánez, I., Gutiérrez, A. & Díaz, M. (1998). *Effect of surface materials on initial biofilm development*. Bioresource Technology 66 (1998) 225-230.

Dolz, J. (2005). Catedrático de Hidráulica de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la UPC. Comunicación personal. 10 de junio de 2005

Kovacs, Z y Vivar, J. (1991). *Bombeo de fangos a gran distancia*. Revista de Obras Públicas, nº 3298, pp.: 23 a 39. Enero

Martínez, F. y Fernández, J. F. (2005). *Pérdidas de carga en tuberías. Coeficientes de rugosidad*. IV Jornada sobre Tuberías de Hormigón Armado y Postesado. CEDEX. Madrid 15 marzo.2005

Ortiz Núñez, Luis Alfonso y Carmona Paredes, Rafael (2000). *Pérdidas por fricción en la conducción de agua con contenido de sólidos*. Rev.: INGENIERÍA DEL AGUA. Vol. 7, nº 2, pp:39-46. junio 2000

Turian, R. M., Ma, T. W., Hsu, F. L. y Sung, D. J. (1998). International Journal of Multiphase Flow, vol. 24, N° 2. *Flow of concentrated non-newtonian slurries: 1. Friction losses in laminar, turbulent and transition flow through straight pipe*, pp. 225-242. and *Flow of concentrated non-newtonian slurries: 2. Friction losses in bends, fittings, valves and Venturi meters*. pp. 243-269.

6.- AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento al Consorci d'Aigües de Tarragona (CAT), por la confianza depositada para realizar el trabajo que ha dado pie a esta comunicación. Ahora bien

dado que las empresas las constituyen personas se quiere agradecer a Xavier Pujol y Oriol Ribas las atenciones que han tenido en todo momento en el desarrollo del trabajo.