

## **APENDICES**

## APENDICE A

### EFECTIVIDAD DE LAS TÉCNICAS DE INSPECCIÓN PARA VARIOS TIPOS DE DAÑOS

Técnica de Inspección	Reducción de espesor	Fisuras en superficie	Fisuras subsuperficiales	Formación de microfisuras	Cambios metalográficos	Cambios dimensionales	Ampolladuras
Inspección Visual	1 – 3	2 – 3	X	X	X	1 – 3	1 – 3
Ondas longitudinales de ultrasonido	1 – 3	3 – X	3 – X	2 – 3	X	X	1 – 2
Ondas superficiales de ultrasonido	X	1 – 2	1 – 2	2 – 3	X	X	X
Partículas magnéticas fluorescentes	X	1 – 2	3 – X	X	X	X	X
Tintas penetrantes	X	1 – 3	X	X	X	X	X
Emisión acústica	X	1 – 3	1 – 3	3 – X	X	X	3 – X
Corrientes de Eddy	1 – 2	1 – 2	1 – 2	3 – X	X	X	X
Detección de fugas	1 – 2	X	X	X	X	X	X
Radiografía	1 – 3	3 – X	3 – X	X	X	1 – 2	X
Medición de dimensiones	1 – 3	X	X	X	X	1 – 2	X
Metalografía	x	2 – 3	2 – 3	2 – 3	1 – 2	X	X

1= Muy efectivo

2 = Efectividad normal

3 = Posiblemente efectivo

X = No se usa normalmente

## APÉNDICE B

### INSPECCIONES RECOMENDADAS Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA LOS MECANISMOS DE DETERIORO DE ACUERDO A LA NORMA API 573

<b>Mecanismo de Deterioro</b>	<b>Manifestación</b>	<b>Técnica de Inspección</b>	<b>Criterio de Aceptación Típico</b>	<b>Métodos de Prevención</b>
Creep/Ruptura por Tensión	Protuberancia en tubos	Inspección Visual Medición dimensional	Máximo 1% - 5% de crecimiento	Reducir la temperatura de metal del tubo y / o tensiones de operación
Creep	Protuberancia en tubos	Metalografía en sitio	No hay criterio definido, evalúe la cantidad y severidad del daño	Reducir la temperatura de metal del tubo y / o tensiones de operación
Creep	Pandeo en tubos	Medición dimensional de la cantidad pandeada	Máximo 5 diámetros de tubo	Revisar la temperatura de operación del metal, el sistema de soporte de los tubos
Transformación metalúrgica de materiales ferríticos	Alta dureza	Pruebas de dureza	Máximo 220 BHN para aceros al carbono y 280 BHN para Cr - Mo	Revisar la operación de los quemadores e indicadores de proceso
Adelgazamiento, oxidación externa	Perdida general del metal	Medición ultrasónica	Espesor mayor que el mínimo espesor requerido para ser cambiado	Reducir la temperatura de operación del tubo, cambiar el material por otro más resistente a la oxidación
Adelgazamiento, erosión	Perdida localizada de metal	Medición ultrasónica Pruebas radiográficas	Espesor mayor que el mínimo espesor requerido para ser cambiado	Revisar las tasas de fluido, revisar la composición del fluido, considerar cambiar el material.

## APÉNDICE C

### DATOS DE LA CALDERA ACUATUBULAR YB-7005 EMPLEADOS EN EL ANALISIS CUANTITATIVO

Zona	Tiempo Servicio (yr)	Diámetro Diseño (in)	Espesor Diseño (in)	Espesor Instalado <sup>1</sup> (in)	Espesor Medido (in)	Tasa de Corrosión (in/yr)	Temp. Diseño (°F)	Temp. Operación (°F)	Presión Diseño (PSI)	Presión Operación (PSI)	Material de Construcción
<b>TUBOS</b>											
Banco generador	5,9	2,5	0,125	0,144	0,138	0,001017	700	550	770	592	SA-192
Pared lateral izquierda	5,9	2,5	0,165	0,190	0,187	0,000508	700	600	770	592	SA-192
Pared lateral derecha	5,9	2,5	0,165	0,190	0,186	0,000678	700	600	770	592	SA-192
Pared posterior	5,9	2,5	0,165	0,190	0,184	0,001017	700	500	770	592	SA-192
Techo del hogar	5,9	2,5	0,180	0,207	0,194	0,002203	700	600	770	592	SA-192
Pared frontal A	5,9	2,5	0,180	0,207	0,186	0,003559	700	600	770	592	SA-192
Pared frontal B <sup>2</sup>	5,9	2,5	0,220	0,253	0,237	0,002712	700	600	770	592	SA-192
Piso	5,9	2,5	0,180	0,207	0,197	0,001695	700	450	770	592	SA-192
Pantalla	5,9	2,5	0,165	0,190	0,172	0,003051	700	650	770	592	SA-192
Sobrecalentador	5,9	2,5	0,220	0,253	0,239	0,002373	752	700	770	592	SA-213-T11
Alimentadores	5,9	3,0	0,180	0,207	0,201	0,001000	650	450	770	592	SA-192
Retorno	5,9	4,0	0,203	0,233	0,226	0,001186	650	500	770	592	SA-192
Vapor Saturado	5,9	10,75	0,593	0,682	0,676	0,001000	650	500	770	592	SA-106-B
Atemperador	5,9	10,75	0,593	0,682	0,676	0,001000	684	450	770	592	SA-106-B
Cabezales sobrecalentador	5,9	12,75	0,875	1,000	0,994	0,001017	752	600	770	592	SA-106-B
Cabezales pared lateral	5,9	12,75	0,875	1,000	0,990	0,001695	650	500	770	592	SA-192
<b>DOMOS</b>											
Domo de vapor	5,9	60,75	1,75	2,0125	2,0066	0,001	700	600	770	592	SA-516-70
Domo de agua	5,9	41,5	2,25	2,5875	2,5816	0,001	700	600	770	592	SA-516-70
<b>OTROS ELEMENTOS</b>											
Ducto de gases <sup>3</sup>	5,9	79,58	0,25	0,275	0,259	0,002712	-	600	-	-	ASTM A36
Ducto de aire <sup>3</sup>	5,9	54	0,25	0,275	0,261	0,002373	-	500	-	-	ASTM A36

<sup>1</sup> El espesor instalado corresponde a un 15% mas que el espesor de diseño.

<sup>2</sup> Estos tubos rodean a los quemadores, por ello tienen un espesor mayor que los otros que conforman la pared frontal.

<sup>3</sup> Para el análisis cuantitativo se empleo el diámetro equivalente debido a que los ductos son cuadrados,  $De = (2a*b)/(a+b)$

**APÉNDICE D**  
**SUBFACTOR DE MÓDULO TÉCNICO POR REDUCCIÓN DE ESPESOR**

Numero de Inspecciones	1				2				3				4				5					
	EFECTIVIDAD				EFECTIVIDAD				EFECTIVIDAD				EFECTIVIDAD				EFECTIVIDAD					
ar/t	Ninguna	M	R	N	A	M	R	N	A	M	R	N	A	M	R	N	A	M	R	N	A	
0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.06	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.08	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.10	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.12	6	5	3	2	1	4	2	1	1	3	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1
0.14	20	17	10	6	1	13	6	1	1	10	3	1	1	7	2	1	1	5	1	1	1	1
0.16	90	70	50	20	3	50	20	4	1	40	10	1	1	30	5	1	1	20	2	1	1	1
0.18	250	200	130	70	7	170	70	10	1	130	35	3	1	100	15	1	1	70	7	1	1	1
0.20	400	300	210	110	15	290	120	20	1	240	60	5	1	180	20	2	1	120	10	1	1	1
0.25	520	450	290	150	20	350	170	30	2	260	80	6	1	200	30	2	1	150	15	2	1	1
0.30	650	550	400	200	30	400	200	40	4	320	110	9	2	240	50	4	2	180	25	3	2	2
0.35	750	650	550	300	80	600	300	80	10	540	150	20	5	440	90	10	4	350	70	6	4	4
0.40	900	800	700	400	130	700	400	120	30	600	200	50	10	500	140	20	8	400	110	10	8	8
0.45	1050	900	810	500	200	800	500	160	40	700	270	60	20	600	200	30	15	500	160	20	15	15
0.50	1200	1100	970	600	270	1000	600	200	60	900	360	80	40	800	270	50	40	700	210	40	40	40

M: Mala

R: Regular

N: Normal

A: Alta

**Instrucciones:**

1. Identifique la columna con el valor calculado de ar/t o el próximo alto valor. Puede usarse interpolación entre filas.
2. Determine el subfactor con base a la columna apropiada para el número de inspecciones o la más alta efectividad de inspeccion.

**APÉNDICE E**  
**SUBFACTOR DE MÓDULO TÉCNICO POR AGRIETAMIENTO CAUSTICO**

N° de Inspecciones		1				2				3				4				5				6							
		Efectividad de Inspección				Efectividad de Inspección				Efectividad de Inspección				Efectividad de Inspección				Efectividad de Inspección				Efectividad de Inspección							
Máximo índice de severidad	No Inspección	Mala	Regular	Normal	Alta	Mala	Regular	Normal	Alta	Mala	Regular	Normal	Alta	Mala	Regular	Normal	Alta	Mala	Regular	Normal	Alta	Mala	Regular	Normal	Alta	Mala	Regular	Normal	Alta
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	10	8	3	1	1	6	2	1	1	4	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
50	50	40	17	5	3	30	10	2	1	20	5	1	1	10	2	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
100	100	80	33	10	5	60	20	4	1	40	10	2	1	20	5	1	1	10	2	1	1	1	5	1	1	1	1		
500	500	400	170	50	25	300	100	20	5	200	50	8	1	100	25	2	1	50	10	1	1	1	25	5	1	1	1		
1000	1000	800	330	100	50	600	200	40	10	400	100	16	2	200	50	5	1	100	25	2	1	1	50	10	1	1	1		
5000	5000	4000	1670	500	250	3000	1000	250	50	2000	500	80	10	1000	250	25	2	500	125	5	1	1	250	50	2	1	1		

**SUBFACTOR DE MÓDULO TÉCNICO AJUSTADO PARA ATAQUE POR HIDROGENO**

Índice de Severidad	No Inspección	Primera Inspección Efectividad			Segunda Inspección Efectividad		
		Mala	Regular	Normal	Mala	Regular	Normal
Daño Observado	-	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Alta Susceptibilidad	2000	1800	1200	800	1600	800	400
Media Susceptibilidad	200	1800	1200	80	160	80	40
Baja Susceptibilidad	20	18	12	8	16	8	4
No Susceptible	1	1	1	1	1	1	1

## APÉNDICE F

### SUBFACTOR DE MÓDULO TÉCNICO PARA FRACTURAS POR FRAGILIZACION

NO PWHT		Espesor (pulgadas)								
		0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
<b>T-T<sub>ref</sub></b>	<b>100</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.9	1.1	1.2
	<b>80</b>	0.0	0.0	0.0	0.8	1.1	2	2	4	6
	<b>60</b>	0.0	0.0	1.0	2	4	9	19	36	60
	<b>40</b>	0.0	0.7	2	9	29	69	133	224	338
	<b>20</b>	0.1	1.3	10	49	143	296	500	741	1008
	<b>0</b>	0.9	3	39	175	424	759	1142	1545	1950
	<b>-20</b>	1.2	7	109	405	850	1366	1897	2415	2903
	<b>-40</b>	2	16	220	697	1317	1969	2596	3176	3703
	<b>-60</b>	2	30	350	988	1740	2479	3160	3769	4310
	<b>-80</b>	3	46	474	1239	2080	2873	3581	4203	4746
	<b>-100</b>	4	61	579	1436	2336	3160	3883	4509	5000

  

PWHT		Espesor (pulgadas)								
		0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
<b>T-T<sub>ref</sub></b>	<b>100</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	<b>80</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
	<b>60</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.9	1.3
	<b>40</b>	0.0	0.0	0.0	0.5	1.1	1.3	2	3	4
	<b>20</b>	0.0	0.0	0.6	1.2	2	4	7	13	23
	<b>0</b>	0.0	0.0	1.1	2	6	14	29	53	88
	<b>-20</b>	0.0	0.4	2	5	17	41	83	144	224
	<b>-40</b>	0.0	0.9	3	12	38	90	171	281	416
	<b>-60</b>	0.0	1.1	5	22	68	153	277	436	623
	<b>-80</b>	0.0	1.2	7	34	102	219	382	582	810
	<b>-100</b>	0.0	1.3	9	46	133	277	472	704	962

## APÉNDICE G

### PARAMETROS LARSON-MILLER PARA LOS TUBOS DE LA CALDERA YB-7005 (ADAPTADO DE API RP 530)

MATERIALES	Ao	A1	A2	A3	A4	Constante C
	Acero de bajo Carbono A 161 A192	3.98044E+01	-1.55223E-01	0.000000E+00	-2.52453E+00	
1 ¼ Cr – ½ Mo A 213 T11 A 355 P11 A 200 T11	4.26001E+01	0.000000E+00	0.000000E+00	-2.62249E+00	0.000000E+00	20

Notas:

1. La lista completa para todos los materiales esta disponible en API RP 530 Calculation of Heater Tube Thickness in Petroleum Refineries.
2. Las unidades para las ecuaciones en la tabla son como sigue:  $\sigma$  está en Ksi.
3. El Parámetro Larson-Miller, se calcula con la ecuación:

$$LMP = A_0 + A_1\sigma + A_2\sigma^2 + A_3 \ln \sigma + A_4 \exp[-\sigma]$$