

 PRODISYS Proyectos Confiables S.A.S	FITNESS FOR SERVICE ASSESSMENT – LÍNEA DE JIBAS 10”	N° HOCOL OXY-JB-FFS-001
		FECHA: 20 DE JUNIO 2017
		REV. A

FITNESS FOR SERVICE ASSESSMENT - LÍNEA DE JIBAS 10”

A	EMITIDO PARA REVISIÓN DEL CLIENTE	20/07/2018	H.GASGA	J.MORALES	
P	EMITIDO PARA COMENTARIOS INTERNOS	20-06-2018	H. GASCA	J. MORALES	
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN	5
2	INTRODUCCIÓN	7
2.1	OBJETIVO.....	7
2.1.1	Método.....	8
2.1.1.1	Daño tipo acanaladura en la parte inferior del tubo.	8
2.1.1.2	Daño tipo ampolladura en el recubrimiento de la parte inferior del tubo.	9
2.1.2	Alcance.....	9
2.1.3	Esquema del informe.....	9
3	LOCALIZACIÓN	9
4	MODELO FEA	9
4.1	EL MODELO FEA	9
4.1.1	Software	10
4.1.2	Unidades	10
4.1.3	Sistema de coordenadas	10
4.1.4	Geometría	10
4.2	DISCRETIZACIÓN	11
4.2.1	Tipos de elementos	13
4.2.2	Materiales.....	14
4.3	CONDICIONES DE FRONTERA, CONDICIONES INICIALES Y CARGAS	14
4.3.1	Casos de carga	14
4.3.1.1	Cargas y condiciones de frontera	15
4.4	SOLUCIÓN.....	15
5	RESULTADOS FEA	15
5.1	MODELO DE TUBO SANO	16
5.2	MODELO DE PÉRDIDA DEL 38% EN ZONA DE ACANALAMIENTO	17
	MODELO	18
5.3	MODELO DE PÉRDIDA DEL 40% EN ZONA DE ACANALAMIENTO	20
	MODELO	20
5.4	MODELO DE PÉRDIDA DEL 50% EN ZONA DE ACANALAMIENTO	22
	MODELO	22
5.5	EVALUACIÓN	23
5.5.1	TIPO DE EVALUACIÓN.....	23
5.5.2	LOCALIZACIÓN DE LAS REGIONES DE PERDIDA DE MATERIAL	24

5.5.3	CREEP Y FATIGA.....	24
5.5.4	DEFINICIÓN DEL TIPO DE COMPONENTE	24
5.5.5	EVALUACIÓN NIVEL 3	24
5.5.6	INFORMACIÓN DEL DISEÑO ORIGINAL, REGISTROS DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN	24
5.5.7	MEDICIONES DE ESPESOR REQUERIDAS	25
5.5.8	EVALUACIÓN NIVEL 3	25
5.5.8.1	EVALUACIÓN DE VIDA RESTANTE	25
	MODELO	26
5.5.8.2	REMEDIACIÓN	27
6	INCERTIDUMBRES DEL CÁLCULO	27
7	CONCLUSIONES	27
8	ANEXOS	28
8.1	CARGA TÉRMICA	28
8.1.1	Cargas de presión externa con tubo vacío ejercida por el terreno.	29
	MODELO	29
8.1.2	Carga elástica del terreno sobre el tubo en expansión térmica.	29
8.1.3	Carga de rotura por cortante del terreno en expansión térmica del tubo	30

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Corrosión leve en zona información tomada de documento PI_102_Insp. Excavaciones Jibas 10in Rev.3	5
Figura 2. Acanaladura de posición horaria 5:30 a 6:30 en el sentido de la línea información tomada de documento PI_102_Insp. Excavaciones Jibas 10in Rev.3.....	6
Figura 3. Evidencia de defecto de recubrimiento tipo “ampollamiento” tanto aguas arriba como aguas abajo de zona preparada superficialmente. ALARMA 1 en zona ampollada en posición horaria 06:00, 5.05 mm medidos por ultrasonido.	6
Figura 4. Resumen de inspección de tubería información tomada de documento PI_102_Insp. Excavaciones Jibas 10in Rev.3	7
Figura 5. Puntos de evaluación.....	7
Figura 6. Localización de puntos de medición tomada de documento PI_102_Insp. Excavaciones Jibas 10in Rev.3	8
Figura 7. Zona de daño por acanalamiento en tubería tomada de documento PI_102_Insp. Excavaciones Jibas 10in Rev.3	8
Figura 8. Geometría	11
Figura 9. Información de la malla del modelo	12
Figura 10. Gráfica de la malla de elementos finitos	13
Figura 11. Modelo de tubo sano	17
Figura 12. Modelo de tubo con acanalamiento desgastado el 38%	19
Figura 13. Modelo de tubo con acanalamiento desgastado el 40%	21

Figura 13. Modelo de tubo con acanalamiento desgastado el 50%	23
Figura 15. Modelo de tubo con acanalamiento desgastado el 70%	26
Figura 16. Modelo de tubo con acanalamiento desgastado el 50% presión exterior	29
Figura 17. Vista general de planta de la línea Jibas 10km.....	30
Figura 18. Modelo simplificado masa resortes Terreno y Tubo	30
Figura 18. Fuerza cortante del terreno sobre el tubo	31

1 RESUMEN

En este reporte se presentan los resultados del análisis FITNESS FOR SERVICE ASSESMENT para la línea de 10" de JIBAS partiendo de los resultados de inspección realizada por OXY el 9 de mayo de 2018 consignado en el documento PI_102_Insp. Excavaciones Jibas 10in Rev.3.pdf. La responsabilidad por la inspección queda fuera del alcance de esta evaluación.

De acuerdo con lo indicado en este reporte se detectaron diferentes tipos de pérdida de material según se indica en el documento PI_102_Insp. Excavaciones Jibas 10in Rev.3.pdf para los diferentes puntos de inspección.

Corrosión leve en zona:



Figura 1. Corrosión leve en zona información tomada de documento PI_102_Insp. Excavaciones Jibas 10in Rev.3

Acanaladura en posición inferior de tubería:

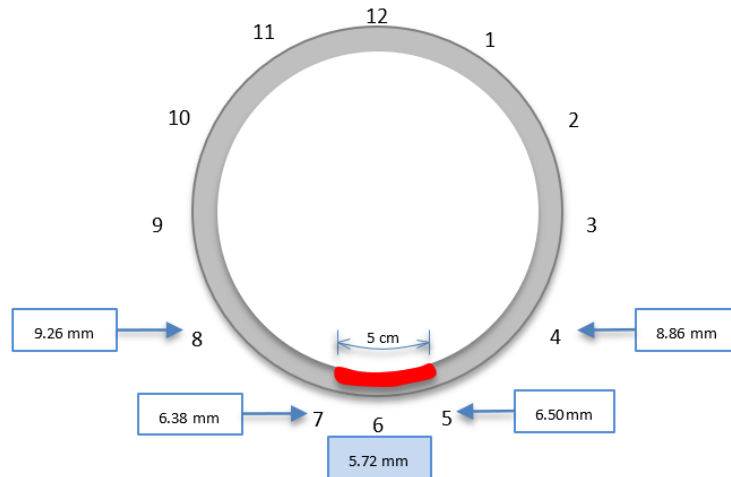


Figura 2. Acanaladura de posición horaria 5:30 a 6:30 en el sentido de la línea información tomada de documento PI_102_Insp. Excavaciones Jibas 10in Rev.3.

Ampolladura de recubrimiento:



Figura 3. Evidencia de defecto de recubrimiento tipo “ampollamiento” tanto aguas arriba como aguas abajo de zona preparada superficialmente. ALARMA 1 en zona ampollada en posición horaria 06:00, 5.05 mm medidos por ultrasonido.

Se presenta el resumen realizado por los inspectores contratados por OXY para el proyecto.

REGISTRO DE LECTURAS DE ESPESOR DE PARED METÁLICA (mm)															Observaciones
Anillo / Circunferencial	Diámetro (in)	Espeor Nominal (mm)	12:00 (0°)	1:00 (30°)	2:00 (60°)	3:00 (90°)	4:00 (120°)	5:00 (150°)	6:00 (180°)	7:00 (210°)	8:00 (240°)	9:00 (270°)	10:00 (300°)	11:00 (330°)	
1	10.75	9.27	9.21	9.08	9.02	9.43	9.49	8.25	4.89	8.58	9.10	-	9.26	9.19	ALARMA 1
2	10.75	9.27	9.24	9.13	9.36	9.84	9.69	8.26	5.39	8.08	9.09	9.62	9.65	9.16	ALARMA 1
3	10.75	9.27	9.24	9.24	9.29	9.65	9.63	7.66	6.03	9.79	9.63	9.91	9.35	9.25	SIN ALARMA
4	10.75	9.27	9.53	9.57	9.62	9.93	9.55	9.35	4.81	8.19	9.37	9.73	9.13	9.20	ALARMA 1
5	10.75	9.27	9.38	9.39	9.34	9.35	9.42	9.57	4.93	9.10	9.13	9.53	9.75	9.61	ALARMA 1
6	10.75	9.27	9.21	9.08	9.02	9.43	9.49	8.25	4.89	8.58	9.10	-	9.26	9.19	ALARMA 1
7	10.75	9.27	9.21	-	9.10	9.04	9.16	7.32	4.65	8.65	8.94	9.27	9.66	9.54	ALARMA 2
8	10.75	9.27	9.2	9.32	9.32	8.92	9.12	7.71	6.12	9.18	9.40	9.36	9.62	9.45	SIN ALARMA
9	10.75	9.27	12.3	12.12	12.25	12.19	12.13	11.85	11.56	11.90	12.85	15.60	14.45	-	TEE. SIN ALARMA
10	10.75	9.27	12.22	11.92	-	12.62	11.90	11.98	11.53	12.21	-	-	12.33	12.22	TEE. SIN ALARMA
11	10.75	9.27	12.25	12.15	12.17	-	12.00	11.92	11.94	12.30	13.58	14.44	14.90	12.57	TEE. SIN ALARMA
12	10.75	9.27	9.98	10.50	12.10	13.68	11.35	10.30	10.77	10.04	10.94	13.94	12.15	10.28	TEE. SIN ALARMA
13	10.75	9.27	9.06	8.96	9.01	9.09	9.07	9.05	9.04	9.02	9.03	9.14	9.16	9.09	SIN ALARMA
14	10.75	9.27	9.04	8.94	9.00	9.08	9.09	9.05	9.02	9.01	9.03	9.05	9.06	9.11	SIN ALARMA

15	10.75	9.27	9.28	8.92	9.19	9.41	9.10	9.03	8.94	9.04	9.13	-	9.34	9.40	SIN ALARMA
16	10.75	9.27	9.31	-	-	9.55	-	-	9.07	-	-	10.33	-	-	SIN ALARMA
17	10.75	9.27	10.64	-	-	9.84	-	-	10.50	-	-	11.01	-	-	TEE. SIN ALARMA
18	10.75	9.27	10.72	-	-	9.81	-	-	10.49	-	-	10.92	-	-	TEE. SIN ALARMA
19	6.75	7.11	7.34	-	-	7.00	-	-	7.37	-	-	7.64	-	-	TEE. SIN ALARMA
20	10.75	9.27	9.04	-	-	8.93	-	-	9.63	-	-	8.65	-	-	SIN ALARMA
21	10.75	9.27	8.96	-	-	9.04	-	-	8.65	-	-	9.03	-	-	SIN ALARMA
22	10.75	9.27	8.94	-	-	9.00	-	-	8.66	-	-	9.23	-	-	SIN ALARMA
23	10.75	9.27	9.04	-	-	8.93	-	-	9.63	-	-	8.65	-	-	SIN ALARMA
24	10.75	9.27	8.96	-	-	9.04	-	-	8.65	-	-	9.03	-	-	SIN ALARMA

Figura 4. Resumen de inspección de tubería información tomada de documento PI_102_Insp. Excavaciones Jibas 10in Rev.3

Teniendo en cuenta los resultados de esta inspección y los tipos de alarma generados se evalúan los siguientes puntos dentro de este análisis.

Anillo / Circunferencia	Diámetro (in)	Espesor Nominal (mm)	12:00 (0°)	1:00 (30°)	2:00 (60°)	3:00 (90°)	4:00 (120°)	5:00 (150°)	6:00 (180°)	7:00 (210°)	8:00 (240°)	9:00 (270°)	10:00 (300°)	11:00 (330°)	Observaciones
1	10.75	9.27	9.21	9.08	9.02	9.43	9.49	8.25	4.89	8.58	9.10	-	9.26	9.19	ALARMA 1
2	10.75	9.27	9.24	9.13	9.36	9.84	9.69	8.26	5.39	8.08	9.09	9.62	9.65	9.16	ALARMA 1
4	10.75	9.27	9.53	9.57	9.62	9.93	9.55	9.35	4.81	8.19	9.37	9.73	9.13	9.20	ALARMA 1
5	10.75	9.27	9.38	9.39	9.34	9.35	9.42	9.57	4.93	9.10	9.13	9.53	9.75	9.61	ALARMA 1
6	10.75	9.27	9.21	9.08	9.02	9.43	9.49	8.25	4.89	8.58	9.10	-	9.26	9.19	ALARMA 1
7	10.75	9.27	9.21	-	9.10	9.04	9.16	7.32	4.65	8.65	8.94	9.27	9.66	9.54	ALARMA 2

Figura 5. Puntos de evaluación.

Se clasificaron los tipos de daño encontrados para estos sitios de alarma de acuerdo con API 579-1/ASME FFS-1, June, 2016 los siguientes tipos de evaluación.

Tipo de daño	API 579-1/ASME FFS-1, June 2016.	
Corrosión leve en zona	Part 6	ASSESSMENT OF PITTING CORROSION
Acanaladura en posición inferior de tubería	Part 4	ASSESSMENT OF GENERAL METAL LOSS
Ampolladura de recubrimiento	Part 13	TECHNICAL BASIS AND VALIDATION – ASSESSMENT OF LAMINATIONS

2 INTRODUCCIÓN

Se requiere realizar evaluación FITNESS FOR SERVICE nivel 3 para los daños con ALARMA 1 y 2 presentados en la inspección realizada por OXY a la tubería JIBA de 10 in.

2.1 OBJETIVO

Evaluar la necesidad de reparaciones y/o la vida restante de la tubería en los sitios de Alarma 1 y 2 de la inspección.

2.1.1 Método

2.1.1.1 Daño tipo acanaladura en la parte inferior del tubo.

El daño tipo acanaladura en la parte inferior del tubo se detectó en menor y mayor grado en los siguientes puntos a lo largo de la línea (Figura 6).

Punto	Trampa envío	1	9	10	Trampa recibo
Posición Horaria	6:00	6:00	6:00	6:00	6:00
Desgaste	6.9%	38%	40%	50%	50%
Alarma	No	1	1	2	2



Figura 6. Localización de puntos de medición tomada de documento PI_102_Insp. Excavaciones Jibas 10in Rev.3 .

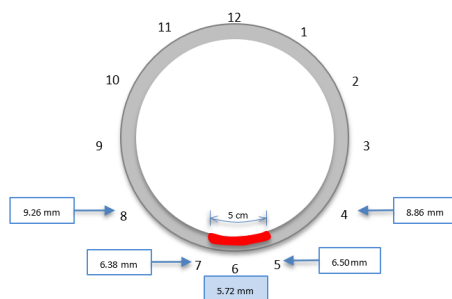


Figura 7. Zona de daño por acanalamiento en tubería tomada de documento PI_102_Insp. Excavaciones Jibas 10in Rev.3 .

Según se puede observar en la tabla anterior el daño se describe como una acanaladura en la zona inferior del tubo que se presenta a lo largo de toda la línea inspeccionada, iniciando con alarma 1 en los puntos cercanos a la trampa de despacho y creciendo hasta alarma 2 en la zona de la trampa de recibo. El hecho de presentarse en una amplia zona de la tubería lo califica para ser evaluado como pérdida generalizada de material de la parte 4 de la norma API 579.

2.1.1.2 Daño tipo ampolladura en el recubrimiento de la parte inferior del tubo.

Se descarta la posibilidad de realizar evaluación del daño por ampolladura en el recubrimiento teniendo en cuenta que la inspección realizada da cuenta de una sola medición de espesor en la zona y no permite determinar la forma ni la dirección del daño (Longitudinal o transversal).

2.1.2 Alcance

El alcance de este estudio es el desarrollo de una evaluación Fitness For service basada en la norma API 579-1/ASME FFS-1, June, 2016 para los puntos de alarma encontrados en la inspección de OXY.

2.1.3 Esquema del informe

En los numerales 1 a 3 se presenta la introducción y explicación de los daños a evaluar. El numeral 4 presenta los análisis de elementos finitos (FEA) realizados para la evaluación, cuyos resultados se presentan en el numeral 5 junto con la evaluación Fitness For Service. El numeral 6 presenta las limitaciones para los cálculos de la evaluación. En el numeral 7 se presentan las conclusiones del análisis.

El numeral 8 es un anexo en el cual se presentan las hipótesis de carga del modelo FEA.

3 LOCALIZACIÓN

La línea de Jibas de aproximadamente 10 Km está ubicada en

4 MODELO FEA

Se describe el modelo de elementos finitos utilizado para el modelamiento de la tubería con el acanalamiento inferior y su comparación con tubería nueva.

4.1 EL MODELO FEA

Para el desarrollo del cálculo se utilizó un modelo de elementos finitos tipo Shell, con el cual se simuló la superficie cilíndrica del tubo y se asignaron espesores diferenciados por zonas para simular el acanalamiento inferior y la zona sana del tubo.

Se escogió una sección de tubería de un metro como cuerpo libre sobre el cual se simulan las cargas solicitadas por la norma API 579 para encontrar los esfuerzos de trabajo en las diferentes condiciones simuladas.

4.1.1 Software

Se utilizó el programa (Code Aster) Salome – Meca V2017.0.2 para Ubuntu 18 Licencia GNU para el desarrollo de los diferentes modelos de cálculo de este numeral.

4.1.2 Unidades

El modelo FEA se realizó utilizando el sistema internacional de unidades, longitudes en metros, esfuerzos en mega pascales Mpa, las temperaturas están expresadas en grados Celsius, las presiones en Pascales y la aceleración en m/s².

Este reporte presente valores en esas unidades.

4.1.3 Sistema de coordenadas

El origen del sistema de coordenadas está localizado en el centro del tanque a nivel 0, más o menos en el fondo de este. El eje X apunta radialmente hacia la pared del tubo, el eje Y es el eje central apuntando hacia arriba, el eje Z longitudinalmente en el centro del cilindro del tubo.

4.1.4 Geometría

El modelo geométrico está construido usando la facilidad de modelamiento, mediante la herramienta de modelamiento de Salome – Meca se construye la geometría cilíndrica a partir de la extrusión de una circunferencia. Una vez construido el modelo se aplican planos de corte radiales y se asignan nombres de grupo diferentes a la zona acanalada y a la zona sana del tubo.

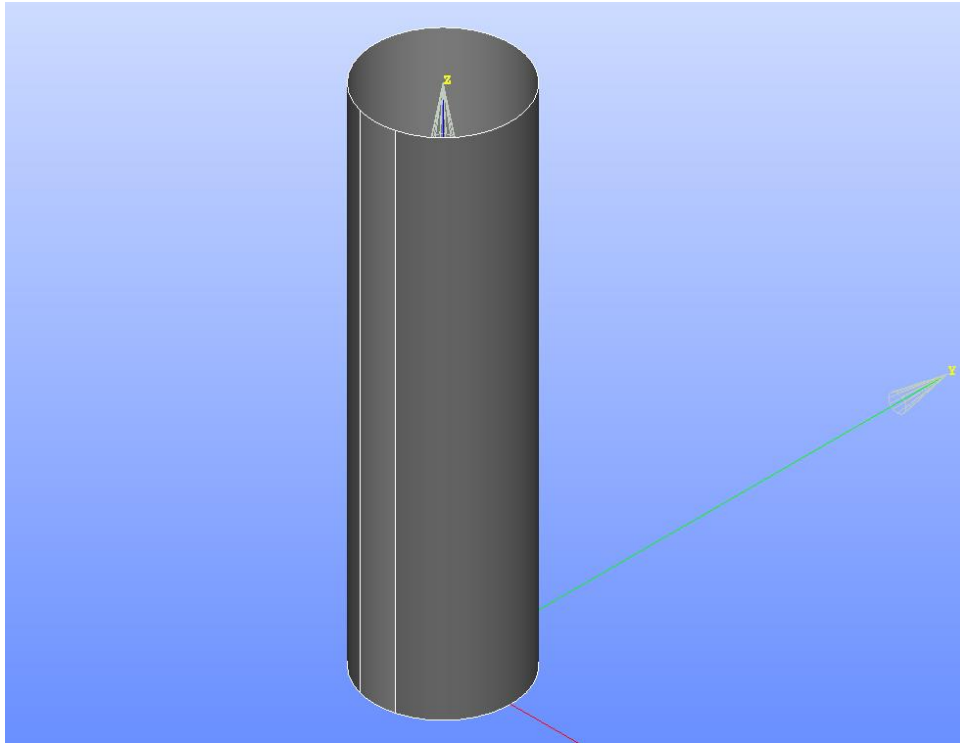


Figura 8. Geometría

4.2 DISCRETIZACIÓN

La geometría plana se divide en nodos y elementos tipo Shell usando el generador de mallas del programa Salome-Meca. El modelo contiene 36934 nodos y 18784 elementos siendo una malla fina. (Ver figura 9 y 10.)

Mesh evaluation succeed				
Evaluate mesh				
 				
Name				
initMesh				
Mesh Infos				
	<i>Total</i>	<i>Linear</i>	<i>Quadratic</i>	<i>Bi-Quadratic</i>
Nodes :	36934			
0D Elements :	0			
Balls :	0			
Edges :	0	0	0	
Faces :	18748	0	18748	0
Triangles :	18748	0	18748	0
Quadrangles :	0	0	0	0
Polygons :	0	0	0	
Volumes :	0	0	0	0
Tetrahedrons :	0	0	0	
Hexahedrons :	0	0	0	0
Pyramids :	0	0	0	
Prisms :	0	0	0	
Hexagonal prisms :	0			
Polyhedrons :	0			
Close Help				

Figura 9. Información de la malla del modelo

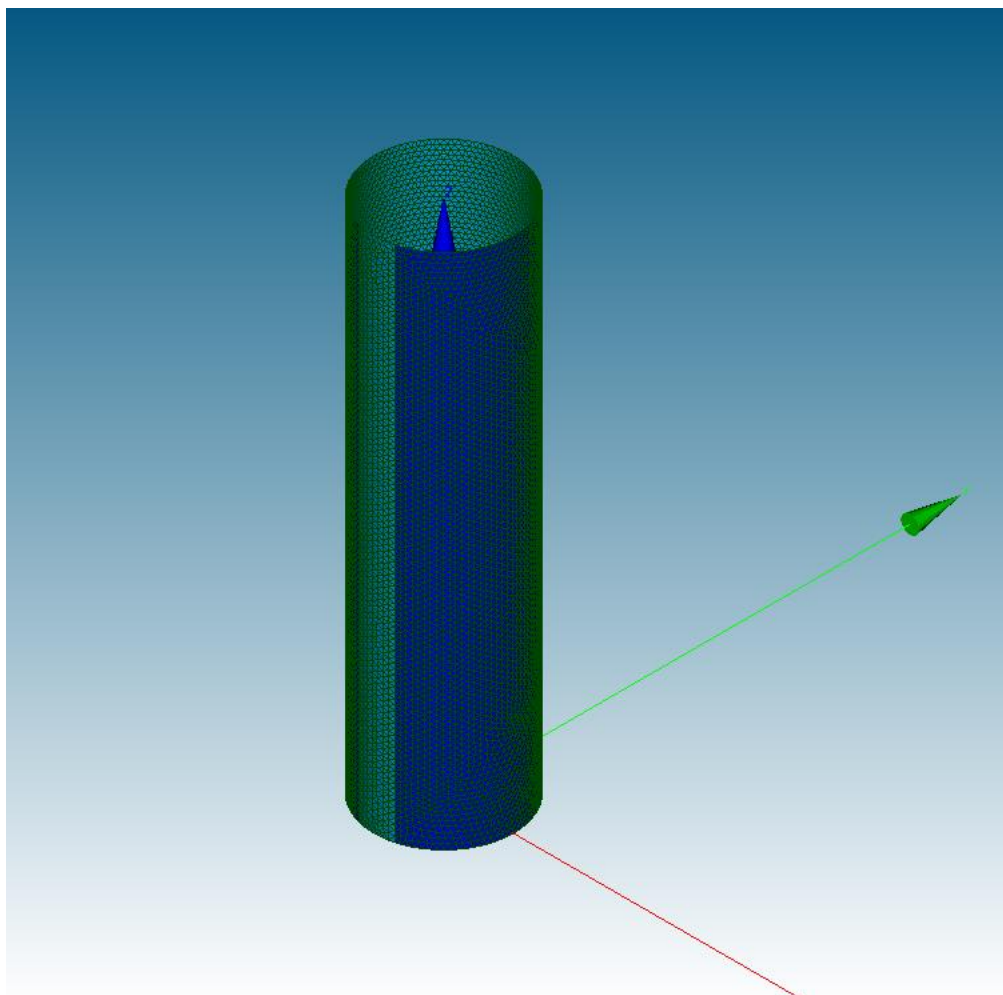


Figura 10. Gráfica de la malla de elementos finitos

4.2.1 Tipos de elementos

Los elementos usados son 2D (Net Gen 2D) de la herramienta Mesh de Salome – Meca, estos elementos son convertidos posteriormente en elementos TRIA6_7 compatibles con el tipo Coque - 3D usado para la simulación tipo Shell. Los espesores modelados corresponden al espesor del tubo nuevo para la zona sana de este y de los siguientes espesores para la zona con acanalamiento.

Nombre del modelo	Espesor Tubo	Espesor en acanalamiento	Perdida de material en acanalamiento
SANO (Modelo usado de base para comparación).	7.6mm	No aplica	No aplica

1-DESG-38	7.6mm	4.7mm	38%
9-DESG-40	7.6mm	4.56mm	40%
10-DESG-50	7.6mm	3.8mm	50%

4.2.2 Materiales

Las propiedades del material de la tubería se resumen en la siguiente tabla.

MATERIAL TUBERÍA	API 5L GR.B	T.operación (° C)	132.2
S_y^{rt}	241	Mpa	
S_u^{rt}	414	Mpa	
Sys @ T. Operación	217	434	Table 2E.7M from bulletin WRC 541
Sut @ T. Operación			Table 2E.7M from bulletin WRC 541
Poisson ratio	0,29		
Thermal Expansion Coeff.		1,25E-05	mm/mm/°C

La información de las propiedades del material del terreno no está disponible para esta evaluación por lo que se asumen datos para hacer análisis de sensibilidad comparativos del tubo en condición sana vs. El tubo con acanalamiento.

4.3 CONDICIONES DE FRONTERA, CONDICIONES INICIALES Y CARGAS

4.3.1 Casos de carga

De acuerdo con la tabla 2.D2 Para análisis elástico por esfuerzo admisible de la norma API 679 se consideran los siguientes casos de carga:

$P+P_s+D$
$P+P_s+D+L$
$P+P_s+D+L+T$
$P+P_s+D+S_s$
$0.6 D+(0.6W \text{ ó } 0.7E)$
$0.9 P+P_s+D+(0.6 W \text{ ó } 0.7 E)$
$0.9 P+P_s+D+0.75 (L+T)+0.75 S_s$
$0.9 P+P_s+d+0.75 (0.6 W \text{ ó } 0.7 E)+0.75 L +0.75 S_s$

P: Maximum allowable working pressure.

Ps: Static Head from liquido r Bulk Materials.

D: Dead Weight ot the vessel, contents, and apportenances at the location of interest.

L: Apportenance living load. Effects of fluid momentum, steady state and transient wave loading.

E: Eartquake loads.

W: Wind loads.

Ss: Snow loads.

T: Self restraining load case (Thermal loads) Applied displacements.

Estos casos de carga se reducen a los siguientes al eliminar cargas inexistentes despreciables.

P
P + T
0.9 P+0.7 E

4.3.1.1 Cargas y condiciones de frontera

En uno de los extremos se hace un anclaje de todos los grados de libertad haciendo el modelo estático.

La carga de presión P se aplica a todo el Shell internamente, cuyo valor es de 150 psi (1'034.000 pa).

La carga térmica T se aplica cómo una fuerza en la frontera comprimiendo al tubo con una carga equivalente a la resistencia al cortante del suelo. Esta carga representa una alta incertidumbre ya que no se dispone de los datos del terreno de la tubería de Jibas. (Ver anexo – Carga térmica). Las temperaturas consideradas para este análisis corresponden a 25 °C para la temperatura ambiente y 132.2 °C para la máxima temperatura de operación.

La carga de sismo E es una fuerza de volumen horizontal, equivalente a 0.15 g para la zona sísmica de Arauca.

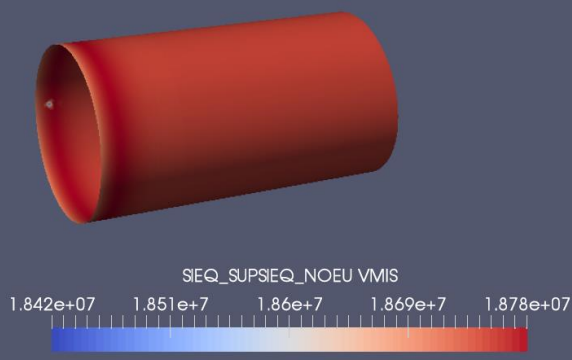
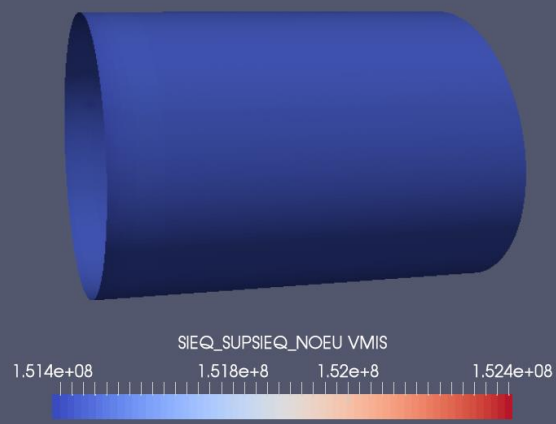
4.4 SOLUCIÓN

El análisis FEA se resolvió en una plataforma Corel i7 con 4 cores, corriendo en un sistema Ubuntu 18.0 con 8 gigas en memoria RAM, la simulación tomó 15 segundos por corrida.

5 RESULTADOS FEA

En este apartado se presentan los resultados del análisis de esfuerzos para los diferentes modelos y casos de carga, presentando cómo hipótesis de esfuerzos valida el valor máximo de Von Mises.

5.1 MODELO DE TUBO SANO

Modelo	Caso de carga	Von Mises max.[Mpa]	Grafica de resultados
SANO	P	18.78 Mpa	Tubo sano P=150psi T=Ambiente 
SANO	P+T	151 Mpa	Tubo sano P=150psi Resistencia cortante Suelo=6.25Kpa 

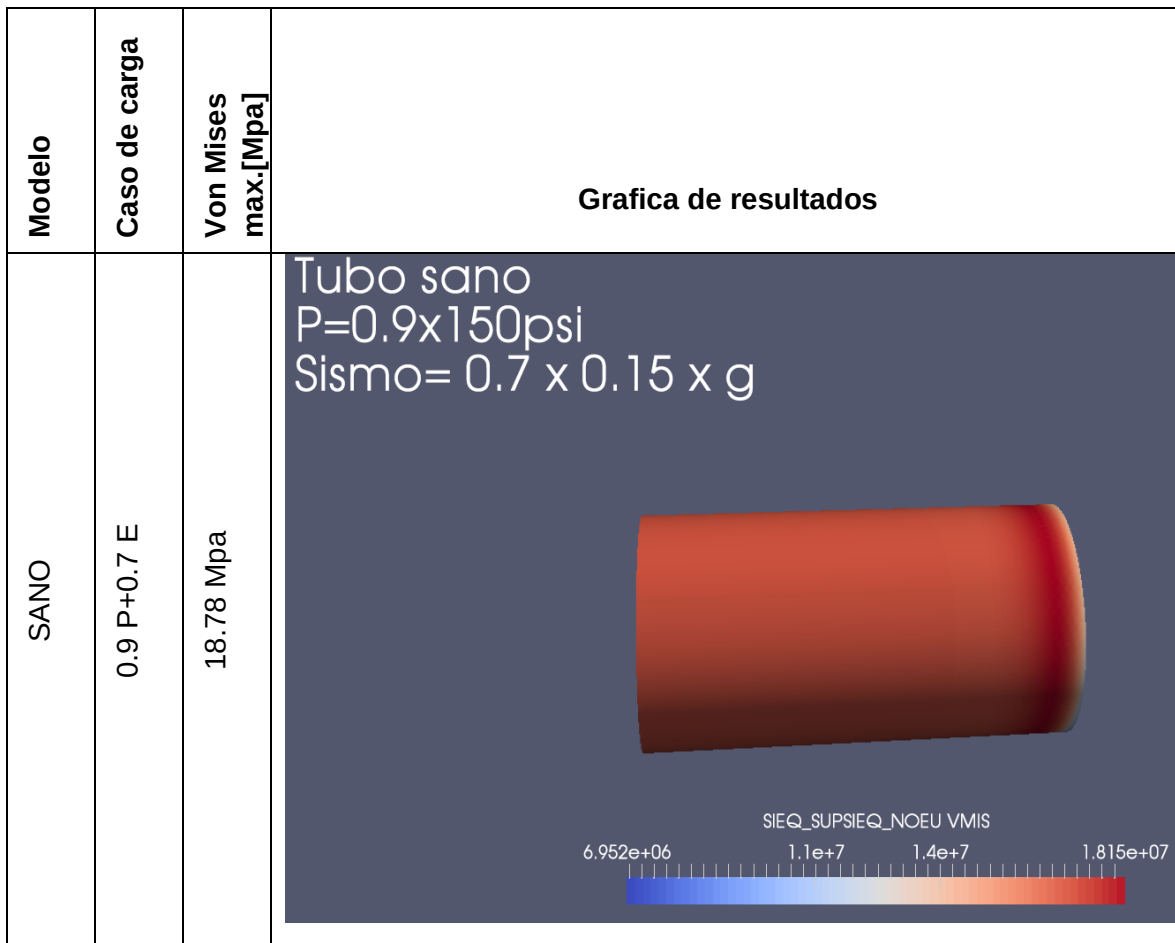
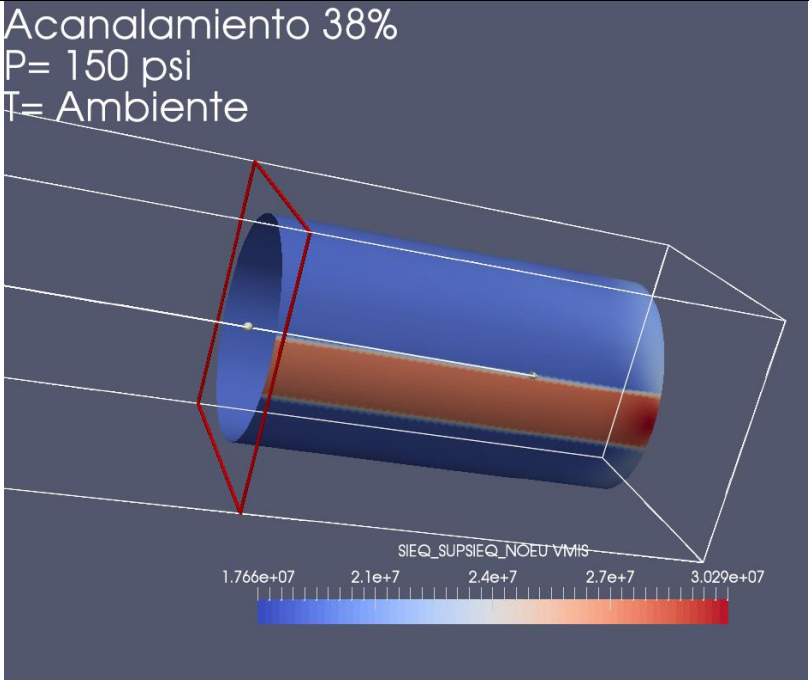
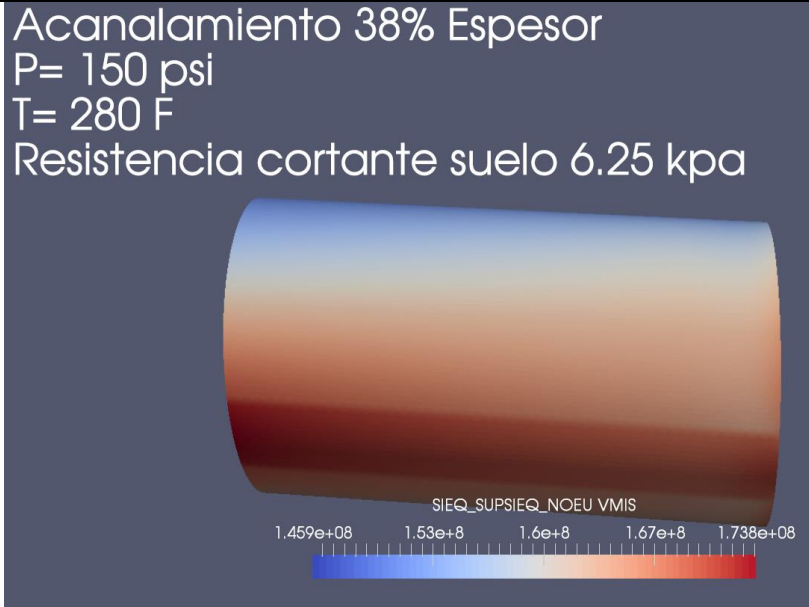


Figura 11. Modelo de tubo sano

Este modelo presenta los esfuerzos de Von Mises para los diferentes estados de carga de la tabla 2.D2 de la norma API 579. En el estado de carga P: Presión interna se modela la presión máxima de operación de 150 psi encontrando esfuerzos de 18.8 Mpa, los cuales dan un alto margen de seguridad respecto a la fluencia del material y al esfuerzo último. En el estado de carga P+T: Presión interna más la temperatura de operación de 270 °F (132.2 °C). No se dispone de información del suelo y para efectos de prueba se utiliza un suelo con resistencia al cortante de 6.25kpa (suelo blando). Se realiza un análisis de sensibilidad para determinar los mayores efectos de la interacción Tubo – Suelo (Comparación de elasticidad, Resistencia a la compresión y resistencia al cortante), determinando como interacción crítica la producida a lo largo del tubo por la resistencia a cortante del terreno. Con este modelo se producen esfuerzos sobre el tubo del orden de los 151 Mpa ó 70% del valor de la fluencia. En el estado de carga 0.9P+0.7E: El esfuerzo máximo es de 18.78Mpa. De esto modelos se puede determinar que el caso crítico es el P+T.

5.2 MODELO DE PÉRDIDA DEL 38% EN ZONA DE ACANALAMIENTO

MODELO	Caso de carga	Von Mises max.[Mpa]	Grafica de resultados
1-DESG-38	P	30.3 Mpa	Acanalamiento 38% P= 150 psi T= Ambiente  1.766e+07 2.1e+7 2.4e+7 2.7e+7 3.029e+07 SIEQ_SUPSIEQ_NOEU VMIS
1-DESG-38	P+T	173 Mpa	Acanalamiento 38% Espesor P= 150 psi T= 280 F Resistencia cortante suelo 6.25 kpa  1.459e+08 1.53e+8 1.6e+8 1.67e+8 1.738e+08 SIEQ_SUPSIEQ_NOEU VMIS

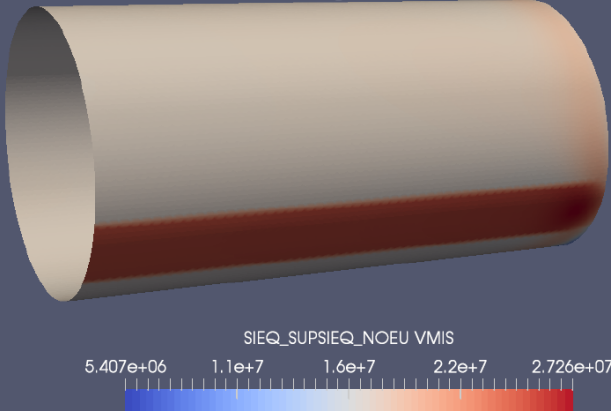
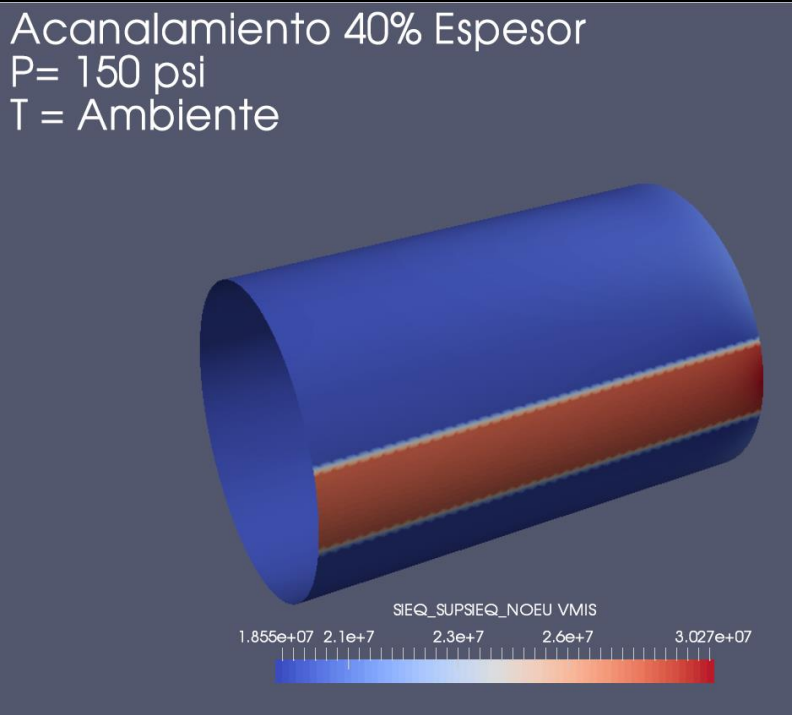
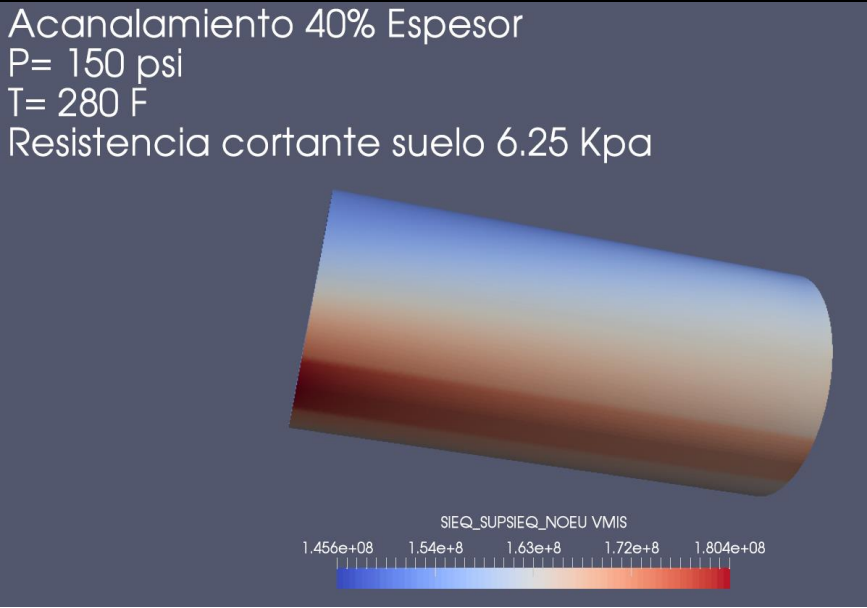
Modelo	Caso de carga	Von Mises max.[Mpa]	Grafica de resultados
1-DESG-38	0.9 P+0.7 E	27.2 Mpa	Acanalamiento 38% Espesor $P = 0.9 \times 150 \text{ psi}$ $T = \text{Ambiente}$ $\text{Carga sismo} = 0.15 \times 0.7 \times g$  SIEQ_SUPSIEQ_NOEU VMIS 5.407e+06 1.1e+7 1.6e+7 2.2e+7 2.726e+07

Figura 12. Modelo de tubo con acanalamiento desgastado el 38%

Este modelo presenta los esfuerzos de Von Mises para los diferentes estados de carga de la tabla 2.D2 de la norma API 579. En el estado de carga P: Presión interna se modela la presión máxima de operación de 150 psi encontrando esfuerzo máximo de 30 Mpa es decir un 67% más alto que el del tubo sano. En el estado de carga P+T: Presión interna más la temperatura de operación 270 ° F (132.2 ° C). Con este modelo se producen esfuerzo máximo sobre el tubo de 173 Mpa que representan un incremento del 14.5% sobre los ocurridos en el tubo sano. En el estado de carga 0.9P+0.7E: El esfuerzo máximo es de 27.2Mpa 44% por encima de el del tubo sano.

5.3 MODELO DE PÉRDIDA DEL 40% EN ZONA DE ACANALAMIENTO

MODELO	Caso de carga	Von Mises max.[Mpa]	Grafica de resultados
1-DESG-40	P	30.2 Mpa	Acanalamiento 40% Espesor P= 150 psi T = Ambiente  SEQ_SUPSEQ_NOEU VMIS 1.855e+07 2.1e+7 2.3e+7 2.6e+7 3.027e+07
1-DESG-40	P+T	180Mpa	Acanalamiento 40% Espesor P= 150 psi T= 280 F Resistencia cortante suelo 6.25 Kpa  SEQ_SUPSEQ_NOEU VMIS 1.456e+08 1.54e+8 1.63e+8 1.72e+8 1.804e+08

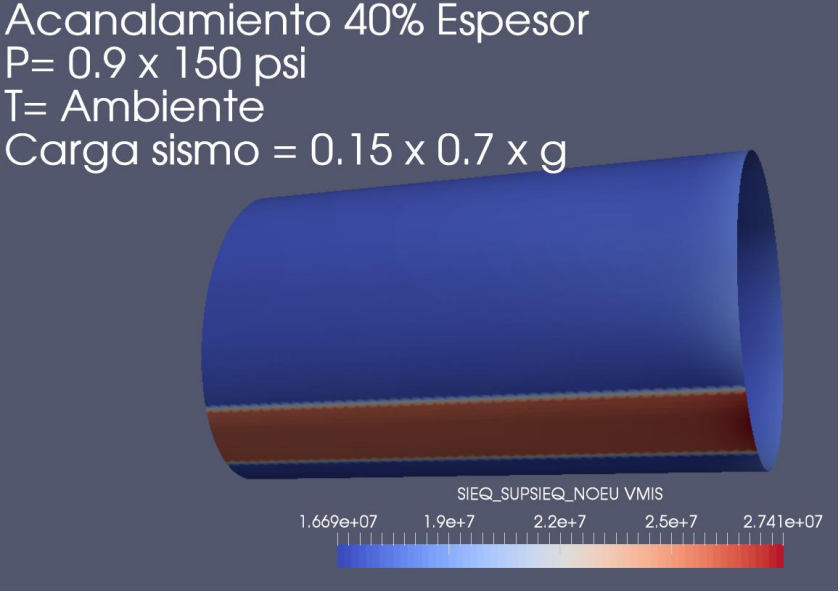
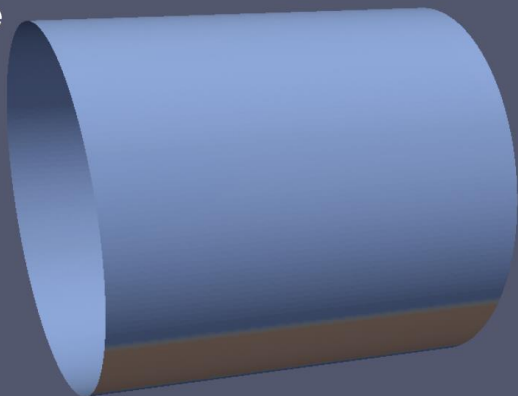
Modelo	Caso de carga	Von Mises max.[Mpa]	Grafica de resultados
1-DESG-40	0.9 P+0.7 E	27.4Mpa	Acanalamiento 40% Espesor $P = 0.9 \times 150 \text{ psi}$ $T = \text{Ambiente}$ $\text{Carga sismo} = 0.15 \times 0.7 \times g$ 

Figura 13. Modelo de tubo con acanalamiento desgastado el 40%

Este modelo presenta los esfuerzos de Von Mises para los diferentes estados de carga de la tabla 2.D2 de la norma API 579. En el estado de carga P: Presión interna se modela la presión máxima de operación de 150 psi encontrando esfuerzo máximo de 30 Mpa es decir un 67% más alto que el del tubo sano. En el estado de carga P+T: Presión interna más la temperatura de operación máxima de 270 ° F (132.2 ° C). Con este modelo se producen esfuerzo máximo sobre el tubo de 180 Mpa que representan un incremento del 19.2% sobre los ocurridos en el tubo sano. En el estado de carga 0.9P+0.7E: El esfuerzo máximo es de 27.4Mpa 44% por encima de el del tubo sano.

5.4 MODELO DE PÉRDIDA DEL 50% EN ZONA DE ACANALAMIENTO

MODELO	Caso de carga	Von Mises max.[Mpa]	Grafica de resultados
1-DESG-50	P	51.3 Mpa	Acanalamiento 50% Espesor P= 150 psi T= Ambiente  SEQ_SUPSEQ_NOEU VMIS 5.907e+06 1.7e+7 2.9e+7 4e+7 5.134e+07
1-DESG-50	P+T	188Mpa	Acanalamiento 50% Espesor P= 150 psi T= 280 F Resistencia cortante suelo 6.25 Kpa  SEQ_SUPSEQ_NOEU VMIS 1.467e+08 1.54e+8 1.64e+8 1.74e+8 1.878e+08

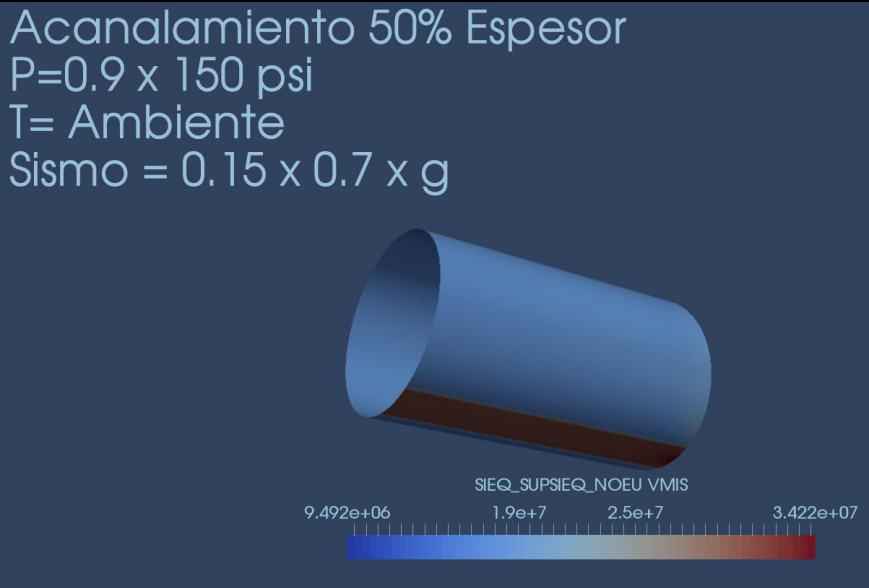
Modelo	Caso de carga	Von Mises max. [Mpa]	Grafica de resultados
1-DESG-50	0.9 P+0.7 E	34.2Mpa	Acanalamiento 50% Espesor $P=0.9 \times 150 \text{ psi}$ $T= \text{Ambiente}$ $\text{Sismo} = 0.15 \times 0.7 \times g$ 

Figura 14. Modelo de tubo con acanalamiento desgastado el 50%

Este modelo presenta los esfuerzos de Von Mises para los diferentes estados de carga de la tabla 2.D2 de la norma API 579. En el estado de carga P: Presión interna se modela la presión máxima de operación de 150 psi encontrando esfuerzo máximo de 51.3 Mpa es decir un 2.73 veces más alto que el del tubo sano. En el estado de carga P+T: Presión interna más la temperatura de operación máxima de 270 °F (132.2 °C). Con este modelo se producen esfuerzo máximo sobre el tubo de 188 Mpa que representan un incremento del 24.5% sobre los ocurridos en el tubo sano. En el estado de carga 0.9P+0.7E: El esfuerzo máximo es de 34.24Mpa 88% por encima de el del tubo sano.

5.5 EVALUACIÓN

Se solicita por parte de OXY una evaluación Fitness For Service Nivel 3 para la línea Jibas de 10" respecto al daño de acanaladura en la parte inferior del tubo, detectado en inspección del cliente.

5.5.1 TIPO DE EVALUACIÓN

El daño producido como acanalamiento en la parte inferior del tubo ocurre desde el inicio de la línea de Jibas hasta el final de esta, de manera progresiva según lo indican los datos.

Empezando con una pérdida de material del 6.9% medida en un punto cercano a la trampa de envío localizada entre las 5:30 horas y 6:30 horas de la circunferencia del tubo y terminando con una pérdida del 50% medida en un punto cercano a la trampa de recibo y con la misma localización en la circunferencia del tubo. Este tipo de pérdida al localizarse en toda la longitud del tubo evaluado se considera una pérdida general y se evalúa según la Parte 4 de la norma API 579, como se procede en este documento.

5.5.2 LOCALIZACIÓN DE LAS REGIONES DE PERDIDA DE MATERIAL

La localización de las zonas de pérdida de material se realizó mediante inspección de un tercero contratado para tal fin por OXY, cuyo informe es un dato de entrada de esta evaluación.

5.5.3 CREEP Y FATIGA

Según evaluación de las temperaturas de operación no se aplica análisis por Creep.

La información del cliente dice que la línea no ha tenido más de 150 arranques y paradas en su vida útil, por lo tanto, no se aplica análisis de fatiga dentro de la evaluación.

5.5.4 DEFINICIÓN DEL TIPO DE COMPONENTE

Debido a que la temperatura de operación de la tubería supera los valores indicados en la figura 4.5 de la norma API 579, se considera como un componente de tipo B clase 1.

5.5.5 EVALUACIÓN NIVEL 3

Por definición del cliente se realiza evaluación de nivel 3.

5.5.6 INFORMACIÓN DEL DISEÑO ORIGINAL, REGISTROS DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN

Respecto a la información de diseño API 579 solicita la información referente a dibujos de fabricación, cálculos originales o actualizados para los casos aplicables del anexo 2C., cálculos de anclajes, registros de inspección durante el tiempo de fabricación, reportes de pruebas de materiales, registro de la prueba hidrostática original, condiciones de proceso de diseño y dibujos isométricos detallados.

La información de mantenimiento y operación necesaria es un registro progresivo incluyendo condiciones actuales de operación, documentación de cambios significativos de uso de la línea, alteraciones, reparaciones y cambios en materiales, registros de pruebas hidrostáticas, registros de mediciones y reparaciones realizadas a la línea.

Teniendo en cuenta la antigüedad de la línea se dispone de una parte de la información, pero no de toda la solicitada:

Información de proceso:

	S.INTERNACIONAL (m, oC, pa,m3/s, kg/m3)	S.INGLES (ft, K, psi, GPM, lb/ft3)	(BFPD)
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	132,2	270	

PRESIÓN OPERACIÓN (PSI)	150	1'034.000	
CAUDAL			12.155
DENSIDAD	0,878		
SOLIDOS	130 mg/L		

Dibujo general del trazado de la línea. Plano GATH-JIBA-Mec.

La ausencia de parte de esta información hace necesario utilizar un enfoque conservador para el desarrollo de esta evaluación.

5.5.7 MEDICIONES DE ESPESOR REQUERIDAS

Las mediciones de espesor fueron realizadas por parte de OXY según se referencia en el resumen de este documento y serán usadas por solicitud del cliente cómo base para esta evaluación adaptándolo a lo solicitado por API 579. El método de toma de mediciones queda fuera de la responsabilidad de este documento.

El perfil crítico de espesor del daño se asume cómo una perdida constante de material ocurrida en entre los radios que ocupan la circunferencia seccional del tubo correspondientes a las zonas horarias desde las 5:30 hasta las 6:30.

5.5.8 EVALUACIÓN NIVEL 3

En el numeral 5 de este documento se presentan resultados del análisis de elementos finitos realizado para esta evaluación.

5.5.8.1 EVALUACIÓN DE VIDA RESTANTE

$$R_{life} = (t_{am} - t_{min}) / C_{rate}$$

Para las secciones estudiadas se calcula la vida restante. Es importante tener en cuenta que este valor no es conservativo. Los valores conservativos se obtienen a través de la MAWP (Maximun Allowable Working Pressure) que no son una opción en este caso porque de acuerdo con el cliente no se deben cambiar las condiciones de operación.

El espesor mínimo en el que los esfuerzos máximos en el tubo no superen el esfuerzo de fluencia se puede determinar del modelo FEA a través de la siguiente relación:

$$S_{max} = S_y \times E$$

Donde S_{max} es mayor esfuerzo admisible para los casos de carga de estudio, S_y es el esfuerzo de fluencia del material del tubo a la temperatura de operación y E , es la eficiencia de la Junta cuando el daño esté por encima de una soldadura.

De acuerdo con la información de la línea, asumiendo que no ha tenido cambios de uso en el tiempo de operación $C_{rate} = \text{mm perdidos en la zona de acanalamiento/año}$.

Según información del Piping Class del cliente (13.CCLASS.B2.pdf), la tubería de Jibas fue construida con el cumplimiento de la norma ANSI B31.4. Por lo tanto, el factor de eficiencia de la junta es de 1.0.

$S_y = 217 \text{ Mpa}$ para el material del tubo a la temperatura de operación.

Si se tiene una eficiencia de junta de 1.0

$S_{max} = S_y = 217 \text{ Mpa}$

Ese caso ocurre aproximadamente con una pérdida del 70% del espesor del tubo en la zona de acanalamiento.

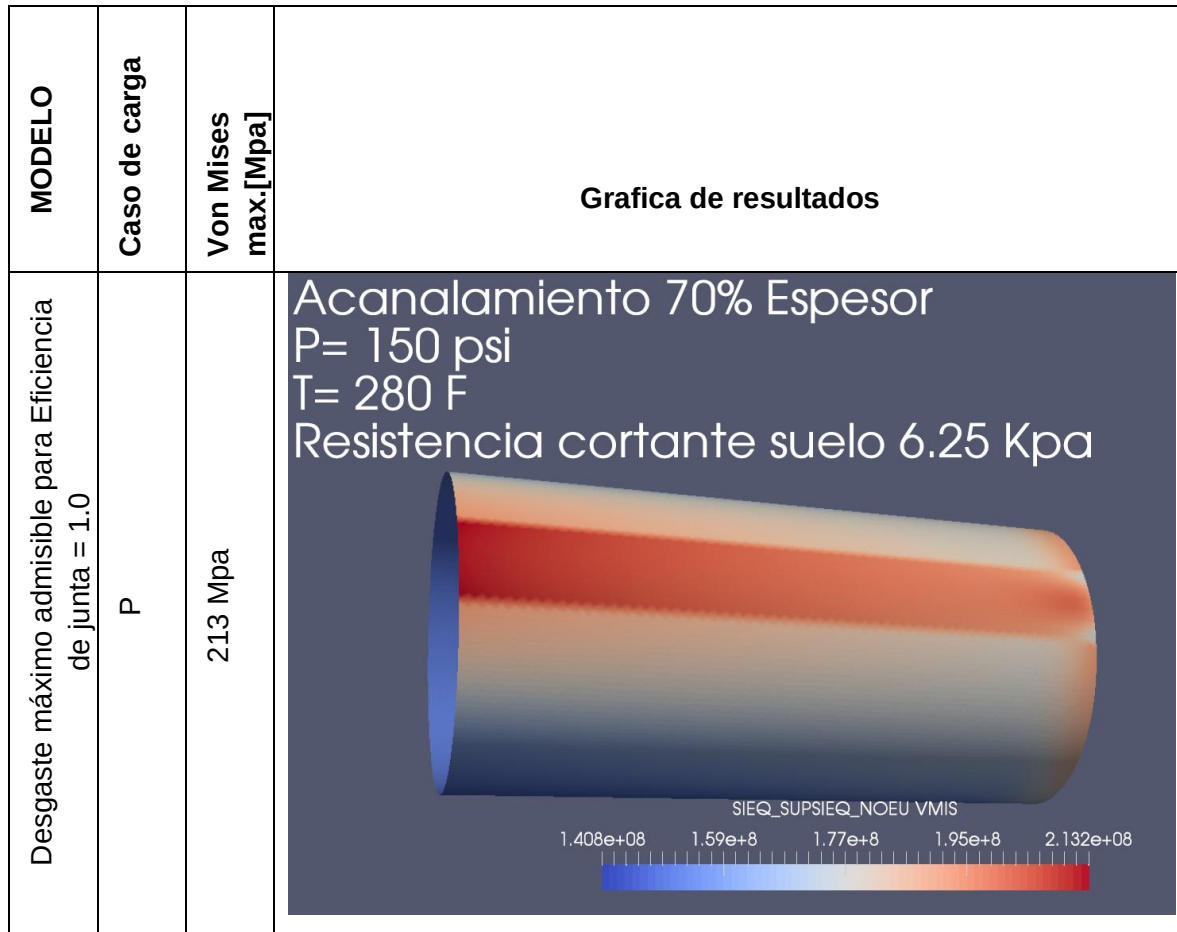


Figura 15. Modelo de tubo con acanalamiento desgastado el 70%

Para este caso la vida restante es la siguiente:

Perdida de espesor en Acanalamiento	t_{am} [mm]	t_{min} [mm]	Crate [mm/año]	Rlife [años]
38%	5.74	2.78	0.29	11.58
40%	5.56	2.78	0.31	8.96
50%	4.635	2.78	0.386	4.8

La condición de carga que genera estos esfuerzos se explica en el anexo 8.1 y corresponde a eventos que principalmente se presentan en los arranques de la línea, cuando el terreno hace fricción con el tubo durante la expansión térmica con el fluido. Este fenómeno se debe evitar en el uso de la línea ya que puede ocasionar la rotura de la tubería.

5.5.8.2 REMEDIACIÓN

Dentro de los métodos de remediación se podría realizar cambios en el proceso. De acuerdo con la información del cliente, las condiciones de temperatura y presión del fluido no son modificables, por lo que este método se descarta.

Para el uso de la línea de manera segura por un tiempo mayor al previsto será recomendable el cambio de los tramos con pérdida de material evaluados con alarmas 1 y 2.

No se recomienda la aplicación de cargas cíclicas correspondientes a arranques y paradas de la línea.

Se recomienda realizar campaña de medición de espesores de manera periódica al menos una vez al año para verificar que el espesor en el acanalamiento no sea inferior al 30%.

6 INCERTIDUMBRES DEL CÁLCULO

Para el momento del desarrollo de este informe no se dispone del análisis de flexibilidad de diseño de la línea subterránea de Jibas, por lo tanto, se realiza una aproximación de los esfuerzos producidos por un tipo de suelo blando sobre el tubo para la carga crítica T+P. Se recomienda realizar o suministrar análisis de flexibilidad de la línea en el estado original para ajustar las aproximaciones de este informe (Anexo 8.1)

Otra información que genera incertidumbre corresponde a la respuesta verbal del cliente respecto a la no existencia de ciclos de arranque y parada superiores a 150 durante la vida útil del proyecto. Por lo tanto, no se tiene en cuenta el cálculo de fatiga.

No se dispone de información del tipo de suelo de la línea.

No se dispone de registros de mantenimiento.

La medición de espesores se realizó por un tercero a nombre de OXY sin certeza de que se haya realizado bajo las premisas de API 579.

Las anteriores incertidumbres se tienen en cuenta para realizar un análisis conservador. Un análisis menos conservador se puede obtener con más información de la línea.

7 CONCLUSIONES

La vida útil esperada para la tubería es de 4.8 años teniendo en cuenta que se deben realizar inspecciones periódicas que den cuenta de espesores de acanalamiento mayores al 30% del original del tubo.

Los defectos de ampolladura deben ser inspeccionados de acuerdo con API 579.

Se plantea la hipótesis de que la ocurrencia del acanalamiento en la parte inferior del tubo y a lo largo de la línea se presente como resultado de una componente importante erosión

por sólidos suspendidos en el fluido. Se recomienda la toma de muestras de sólidos y en lo posible realizar análisis CFD de erosión para predecir la tasa futura de este fenómeno.

8 ANEXOS

8.1 CARGA TÉRMICA

En este anexo se explican las consideraciones tenidas en cuenta para el modelamiento de las cargas térmicas asociadas a la expansión por el cambio de temperatura entre 25 C y 132.2 C (Máxima de operación)

En el presente anexo se realiza un análisis de sensibilidad para tomar en cuenta diferentes tipos de carga ocurridas en la interacción Tubo – Suelo de manera que su efecto se pueda incluir en los modelos FEA de esta evaluación.

8.1.1 Cargas de presión externa con tubo vacío ejercida por el terreno.

Se simuló el esfuerzo producido por el terreno en el exterior del tubo aproximándolo como una presión exterior encontrando que el esfuerzo máximo producido resulta ser de orden despreciable respecto al S_y del material. Esta carga por lo tanto no es tomada en cuenta en las interacciones estudiadas.

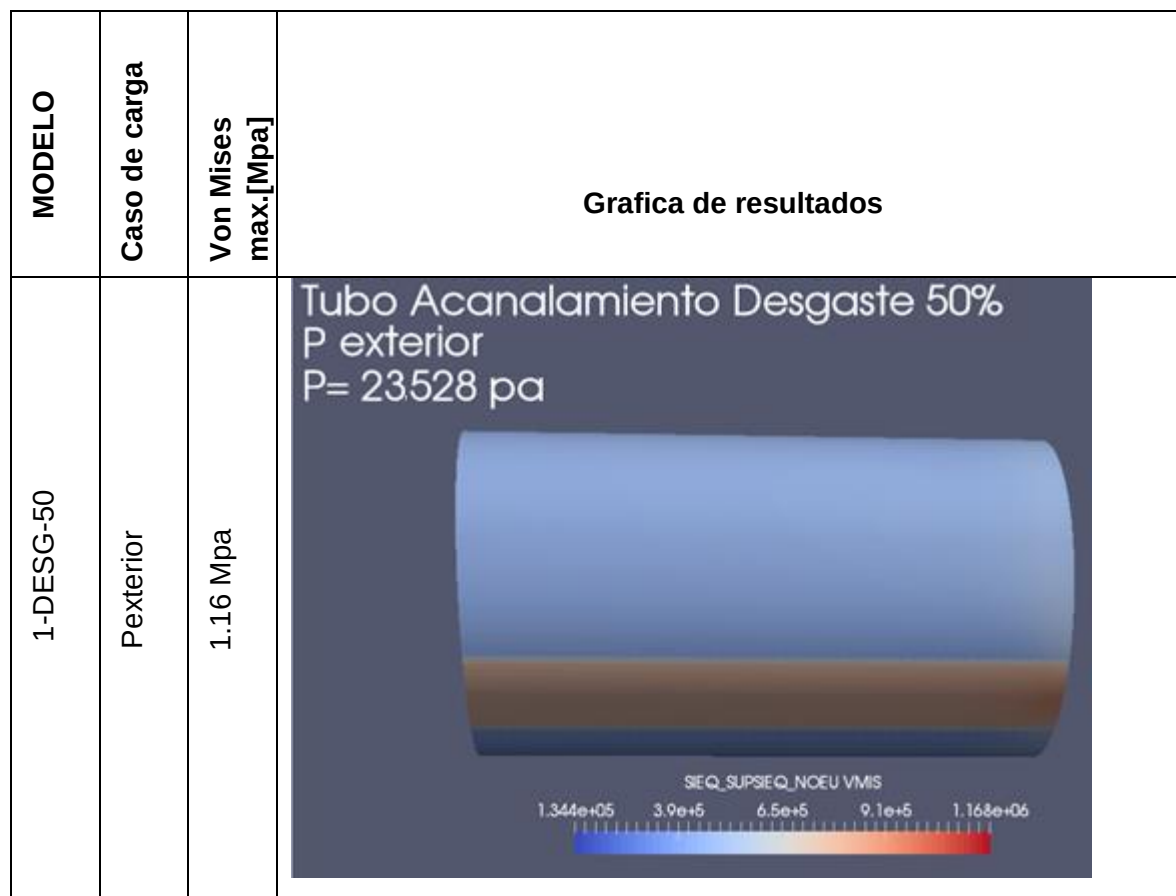


Figura 16. Modelo de tubo con acanalamiento desgastado el 50% presión exterior

8.1.2 Carga elástica del terreno sobre el tubo en expansión térmica.

El terreno adyacente al tubo, dependiendo del coeficiente de fricción acero – terreno se deformará de manera paralela a este siempre que no se genere rotura cortante. Se configura un sistema de 2 resortes en paralelo con módulos de elasticidad diferentes.

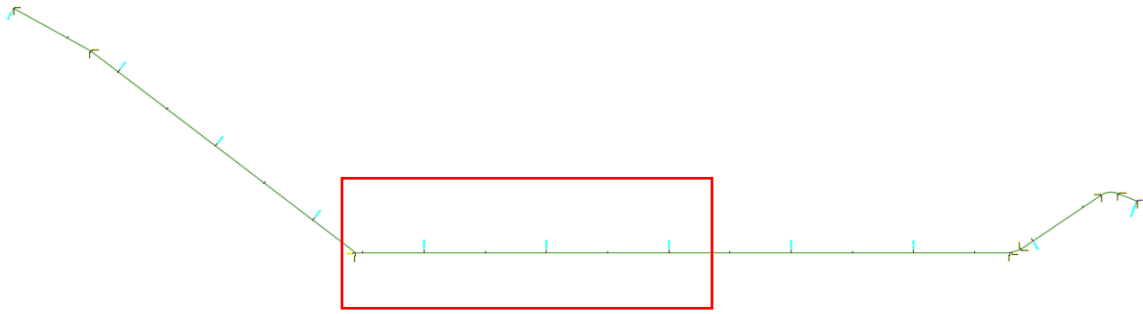


Figura 17. Vista general de planta de la línea Jibas 10km.

Para el análisis se escoge una zona de la línea correspondiente a 3.5K aproximadamente según se indica en la figura.

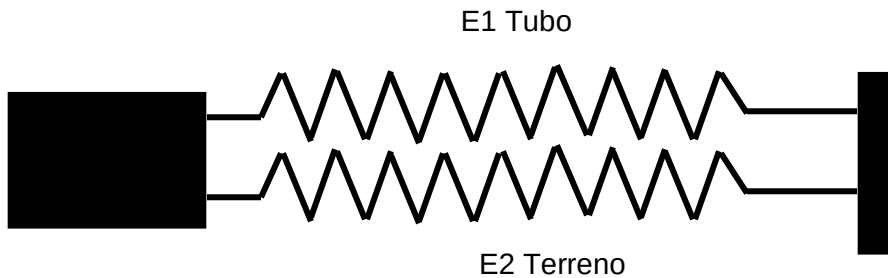


Figura 18. Modelo simplificado masa resortes Terreno y Tubo

Se asume un punto en la zona central de la línea donde el desplazamiento es cero. Realmente ese punto existe, aunque se debería llevar a cabo un análisis de flexibilidad para determinar su posición exacta. A partir de ese punto central el tubo se expande térmicamente y si su movimiento es libre en la zona de estudio (3500m) la expansión es de 4.93m, correspondientes a:

$$DL = 3500\text{m} \times 12.5\text{e-}6 \text{ mm/mm/}^{\circ}\text{C} \times 112.78 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Al acoplar el tubo con el terreno y asumiendo que ambos se deforman elásticamente en conjunto se obtiene que el terreno le impone una restricción al movimiento del tubo equivalente a 0.02m en los 3500m ó $2.857\text{e-}6 \text{ m/m}$. La carga equivalente a esta restricción se aplicó al modelo FEA y produjo resultados de esfuerzo despreciables que no fueron tenidos en cuenta para la evaluación.

8.1.3 Carga de rotura por cortante del terreno en expansión térmica del tubo

Se analizó la carga de restricción que impone el terreno al tubo en expansión térmica, por rotura producida por cortante.

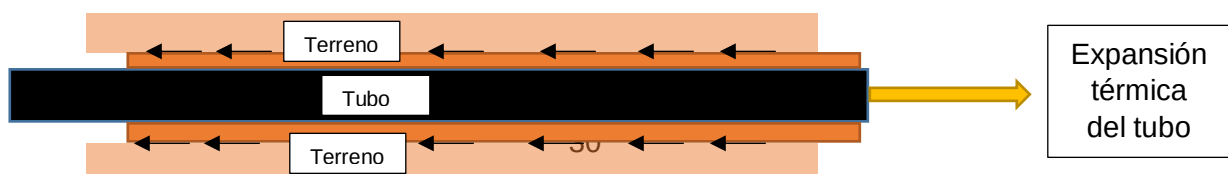


Figura 19. Fuerza cortante del terreno sobre el tubo

Se escogió de manera arbitraria un suelo con resistencia al cortante de $\tau = 6.25 \text{ Kpa}$. Se asumió la fuerza cortante producida por la rotura del terreno para un área similar al área externa del tubo cómo:

$$F = \tau \times A = 5375 \text{ N por cada metro lineal de tubo.}$$

Esta carga ocurrirá cada vez que se presente un arranque o una parada de la línea. Para el tubo nuevo representa una carga de fatiga que no se analiza por lo explicado en el cuerpo del informe.

Sin embargo, para el tubo en las condiciones de acanalamiento actuales esta carga representa esfuerzos cercanos a los de fluencia que deben ser tenidos en cuenta cómo cargas eventuales y se utilizan para los análisis de este documento en la condición de expansión térmica que representa la principal carga de análisis.