

Capítulo-IV

Evaluación de Ductos Submarinos.

IV.1 Objetivo.

Presentar la secuencia de evaluación de un ducto submarino con sus ductos ascendentes aplicando la normatividad vigente y el criterio descrito en el presente trabajo. Se seleccionó el ducto con clave No. 016 que parte de Akal-G Perforación hacia Akal-C Enlace, considerando como daño o requerimiento de evaluación, el desplazamiento horizontal provocado por fuerzas meteorológicas y oceanográficas resultado del paso de un huracán.

En la figura No. 32 se muestra la posición de la salida del ducto submarino con respecto a la orientación de la plataforma Akal-G perforación, apreciándose la orientación de la curva de expansión del ducto ascendente

IV.2 Datos de Operación del Ducto.

□ Ducto submarino

Diámetro:	14"
Espesor de pared:	0.438"
Tipo de acero:	API-X52
Servicio:	Gasoducto
Longitud:	2.271 Km
Presión de operación de diseño:	85 Psi
Densidad del producto:	54 Pcf
Temperatura de diseño:	160° F
Espesor del recubrimiento anticorrosivo:	0.035"
Densidad del recubrimiento:	140 Pcf
Espesor del lastre de concreto:	1.125"
Densidad del lastre:	140 Pcf
Longitud de la junta de campo:	12"
Espesor de la junta de campo:	1.125"
Densidad:	80 Pcf
Tirante de agua:	44 m

Datos del Suelo:

Descripción del suelo:	Arcilla blanda
Resistencia al corte:	0.16 Ksf

- Ductos ascendentes (016-A en Akal-G perforación y el 016-B en Akal-C enlace)

Diámetro:	14"
Espesor de pared:	0.500"
Tipo de acero:	API-X52
Servicio:	Gasoducto
Presión de operación de diseño:	85 Psi
Densidad del producto:	54 Pcf
Temperatura de diseño:	160° F
Espesor del lastre de concreto en la curva de expansión:	1.125"

IV.3. Cálculo del Espesor de Pared del Ducto por Presión.

Para calcular el espesor de pared mínimo (t_p) que requiere el ducto para resistir la presión máxima de operación, se aplicará la fórmula Ec.: 23 descrita en el apartado III.7.

Para seleccionar la categoría del ducto submarino, se supondrá que el nivel de producción es menor a 100 MBCPED, por lo que para la zona-A (línea regular o ducto submarino) le corresponde una categoría Moderada.

El factor para evaluación lo obtenemos de la tabla IX, considerando que el ducto tiene una edad mayor a 5 años, resultando el valor de $f = 0.81$

Al aplicar la fórmula descrita obtenemos un valor de t_p igual a 0.0369"

En el supuesto de que no se cuente con el dato de los espesores medidos en campo, se procede a calcular el espesor de pared requerido para la vida útil remanente (t_r), aplicando las Ecs.: 28 y 29, considerando una Vida Útil de Diseño de 20 años y un Número de Años de Servicio del ducto igual a 18, obtenemos un espesor por corrosión en función de la vida útil remanente calculado (t_{cvr}) igual a 0.0125", entonces el valor de t_r es igual a 0.0494" o sea (0.0369" + 0.0125").

Para calcular el espesor actual supuesto se emplea la Ec.: 31, de donde obtenemos que $t_{act} = 0.438" - 0.00625" * 18$, dando como resultado $t_{act} = 0.325"$ cumpliéndose la condición

de que $t_{act} \geq t_r$ (El espesor actual supuesto cumple con el requerido).

IV.4. Análisis de Estabilidad Hidrodinámica.

El cálculo de la estabilidad del ducto submarino se desarrolla utilizando las guías contenidas en el A.G.A. proyecto PR-178-9333 (1993): "Análisis de Estabilidad de Líneas Submarinas en el Fondo Marino Volumen I y Guías de Diseño, Comité de Investigación de Líneas Submarinas", y la norma de PEMEX No. NRF-013-PEMEX-2000 "Evaluación de Líneas Submarinas en el Golfo de México."

Para la selección de los parámetros oceanográficos, se identifica al ducto dentro del área Norte descrita en la figura 21, ya que el ducto 016 se encuentra arriba de la latitud Norte $19^{\circ} 19'$ y su orientación es hacia el Noreste partiendo de Akal-G perforación, para la evaluación se seleccionó una condición extrema de estado de mar con un periodo de retorno de 100 años (figuras No. 22 y 24), y una dirección de tormenta (oleaje) Oeste-Noroeste (WNW) y del Noreste (NE) conforme a lo descrito en la NRF-013-PEMEX-2000, seleccionándose la dirección WNW por ser la más perpendicular a la línea. La dirección de la corriente, utilizada en el análisis, se tomó paralela a la batimetría de la región donde está localizado el ducto.

El factor utilizado en el análisis depende de la Categorización del ducto por Seguridad y Servicio (CSS), considerando que el ducto 016 transporta gas, con un nivel de producción entre 0 y 100 MBCPED, la categoría que le corresponde es moderada, entonces se selecciona de la tabla X, el valor del factor FE, siendo en este caso de 0.8.

Los datos del suelo se obtuvieron de los reportes geotécnicos:

- Investigación Geotécnica - Petróleos Mexicanos. Sondeos en Akal-C, Bahía de Campeche. Noviembre 1978.
- Investigación Geotécnica - Petróleos Mexicanos. Sondeos en Akal-G, Bahía de Campeche. Septiembre 1992.

La longitud de los tramos del ducto analizado, así como los niveles de enterrado respectivos se obtuvieron de los reportes de inspección submarina con fecha febrero de 1996 y abril de 1996.

TABLA XI.- PERFIL DEL DUCTO OBTENIDO MEDIANTE INSPECCIÓN CON EQUIPO GEOFÍSICO.

PUNTO (EST.)	COORD. X	COORD. Y	TIRANTE DE AGUA EN METROS	PROFUNDIDAD DE ENTERRADO EN METROS	CADENAMIENTO EN METROS
4	599759	2143142	42.95	-0.300	0+000
7	599790	2143194	42.90	-0.400	0+061
8	599812	2143229	42.80	-0.150	0+102
13	599847	2143282	43.00	-0.200	0+165
22	599892	2143347	42.90	0.000	0+245
27	599932	2143425	43.00	0.000	0+335
30	599999	2143534	43.10	0.000	0+460
35	600057	2143600	43.20	0.200	0+575
38	600121	2143744	43.25	0.000	0+703
40	600185	2143856	43.40	0.000	0+832
44	600238	2143949	43.50	-0.300	0+939
48	600292	2144050	43.60	0.000	1+054
51	600354	2144152	43.60	0.000	1+173
54	600390	2144222	43.60	0.000	1+252
57	600430	2144293	43.75	0.000	1+333
62	600450	2144334	44.00	-0.350	1+378
66	600498	2144411	44.10	0.000	1+469
72	600544	2144496	44.40	-0.100	1+566
77	600596	2144577	44.40	-0.400	1+662

Los valores de la resistencia al corte del suelo (S_u) utilizados en el análisis fueron de 80 lb/ft², en las estaciones números 7(0+061) y 13(0+165), y de 100 lb/ft² para las estaciones 62(1+378) y 77(1+662).

TABLA XII.- DATOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS, TORMENTA CON PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS.

Estación (metros)	Tirante de Agua (pies)	Velocidad de la Corriente en el fondo (pie/seg)	Dirección Principal de Corriente hacia el ducto (grados)	Velocidad de Corriente Normal al Ducto (pie/seg)	Altura de Ola Significante (pies)	Dirección Principal de Propagación de Ola hacia el Ducto (grados)	Período Pico Espectral de la Ola (seg)
7(0+061)	140.8	2.39	35.5	1.39	25.8	81	12.3
77(1+662)	145.7	2.33	34.3	1.31	26.0	80	12.3

Se utilizó el modelo espectral de Pierson-Moscowitz asumiendo una desviación estándar para un oleaje unimodal de 30 grados.

IV.4.1 Resumen de Resultados.

En la tabla XIII se resume el resultado del análisis realizado con el software AGA Nivel-II, se describen los niveles de enterrado mínimo requeridos para que el ducto sea capaz de soportar la condición de carga bajo una tormenta con período de retorno de 100 años. También se presentan los niveles de enterrado obtenidos de los reportes de la inspección de abril de 1996. En la figura 33 se muestran los niveles de enterrado de la línea en las estaciones números 7(0+061), 62(1+378) y 77(1+662).

TABLA XIII.- RESULTADO DEL ANÁLISIS.

Estación (metros)	Nivel de Enterrado (del Ducto) (pulgadas)	Nivel de Enterrado Mínimo Requerido (pulgadas)	Fuerzas			Resistencia Pasiva del Suelo (lb/pie)
			<i>Nivel de Enterrado Mínimo Requerido</i>			
			Arrastre (lb/pie)	Levantamiento (lb/pie)	Inercia (lb/pie)	
7 (0+061)	0.6	2.4	34.9	46.9	15.9	40.5
62 (1+378)	2.6	2.3	34.1	45.0	15.4	39.6
77 (1+662)	0.6	2.3	32.4	44.9	15.6	38.2

La estabilidad se evaluó comparando los niveles de enterrado del ducto obtenidos de los resultados de la inspección con equipo geofísico contra los niveles de enterrado mínimo requerido, calculados.

Del análisis se concluye que el ducto es inestable en las estaciones números 7(0+061) y 77(1+66), ya que los niveles de enterrado actuales son menores que los niveles de enterrado requeridos para la estabilidad lateral, para la condición de carga bajo una tormenta con periodo de retorno de 100 años. El resto de la línea submarina es estable, debido a que los niveles de enterrado actuales son mayores a los mínimos requeridos para estabilidad lateral.

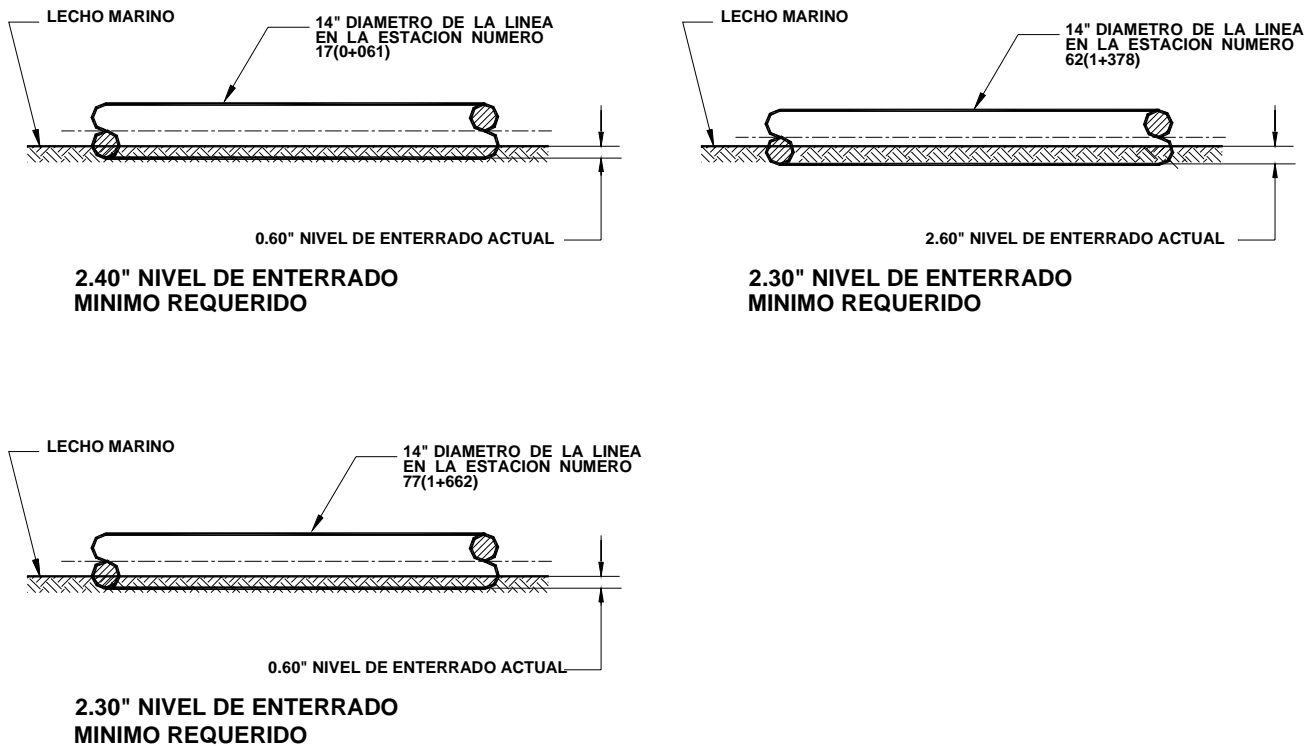


FIGURA 33.- RESULTADO DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD HIDRODINÁMICA.

IV.5. Alternativa para Reparar el Ducto.

Considerando que el ducto en las cercanías de la plataforma Akal-G perforación presenta un tramo de línea con inestabilidad (estación No. 7) y que en las cercanías de la plataforma Akal-C enlace presenta dos tramos de línea inestables (estaciones No. 62 y 77), y que adicionalmente este ducto en uno de sus tramos se encuentra encimado con el ducto número 137 en las cercanías de la plataforma Akal-G perforación, situación que presenta un riesgo potencial, se decide llevar a cabo la reparación del ducto instalando un nuevo tramo de ducto en la cercanía de la plataforma Akal-G perforación que incluya la curva de expansión y el ducto ascendente. Para el caso de la estación No. 7 en cercanías de Akal-C, se propone estabilizar el tramo de ducto mediante dragado.

IV.5.1 Descripción de las Alternativas de Reparación.

Se visualizan dos alternativas para reparar el ducto, cuya diferencia consiste en la forma de unir el tramo de ducto nuevo con el ducto existente, la primera de ellas denominada "A", consiste en unir ambos tramos de tubería mediante una soldadura superficial que se realizaría sobre la cubierta de la barcaza que llevaría a cabo la reparación. Después de realizar el corte del tramo del ducto a sustituir, se levantaría hasta la cubierta de la barcaza el extremo del ducto que continuaría en operación para que en la cubierta de la barcaza se realice la unión con la tubería nueva.

La alternativa denominada "B" consiste en unir ambos tramos de tubería en el lecho marino mediante el uso de soldadura hiperbárica.

IV.5.2 Criterio para Seleccionar una de las Alternativas.

Adicional a los factores de costo de reparación y tiempo de ejecución de los trabajos, así como producción diferida, se considera la edad del ducto (en la sección IV.3 de este trabajo se estimó la edad del ducto en 18 años) y los esfuerzos que en un momento dado se le puedan inducir al ducto.

TABLA XIV.- Características de las Alternativas.

Alternativa	Descripción	Costo (en U.S. \$)	Tiempo de Ejecución
A	Soldadura Superficial	9,017,904	53.01 días
B	Soldadura Hiperbárica	11,440,783	41.76 días

EL TIEMPO DE EJECUCIÓN NO CONSIDERA EL TIEMPO REQUERIDO PARA LA ADQUISICIÓN DE MATERIALES NI PARA REALIZAR TRABAJOS PREVIOS A LA REPARACIÓN, TALES COMO LIBRANZAS, LIMPIEZA INTERIOR DEL DUCTO, ASÍ COMO PARA LA LICITACIÓN DEL SERVICIO DE REPARACIÓN. TAMPOCO INCLUYE TIEMPO MUERTO O EN ESPERA POR CONDICIONES METEOROLÓGICAS SEVERAS (MAL TIEMPO).

Considerando lo anterior, se selecciona la alternativa B ya que por la edad del ducto, no es recomendable moverlo del lecho marino ya que se le podrían inducir esfuerzos externos ocasionados durante las maniobras de levantamiento, mismos que podrían general alguna falla.

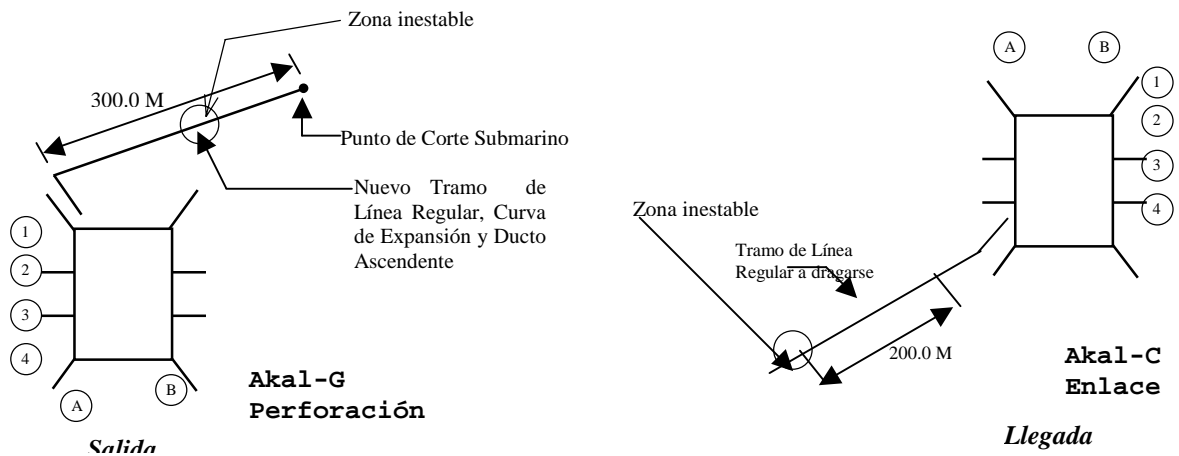


FIGURA 34.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ALTERNATIVA DE REPARACIÓN "B"

En el Anexo "A" se detallan los datos de ingeniería para llevar a cabo la reparación del ducto.

En el Anexo "B" se detalla la relación de materiales requeridos para llevar a cabo la reparación del ducto.