



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

ANÁLISIS DE TENSIONES EN DUCTOS ENTERRADOS

Collazo Patricio ^{*1}, Gonzalez Eduardo ²

^{*1} Techint Ingeniería y Construcción

Bouchad 557 Piso 12 Ciudad Autónoma de Buenos Aires (C1106ABG)

correo-e: pacollazo@techint.com

² Techint Ingeniería y Construcción

Bouchad 557 Piso 12 Ciudad Autónoma de Buenos Aires (C1106ABG)

correo-e: teaego@techint.com

RESUMEN

El trabajo tiene como objeto dar los lineamientos generales para el cálculo de tensiones, cargas y desplazamientos de tuberías enterradas como ser gasoductos, oleoductos, poliductos y acueductos. Está basado en los procedimientos internos y en los antecedentes de los proyectos desarrollados por Techint Ingeniería y Construcción.

Incluye los siguientes temas:

Cálculo y verificación de ductos enterrados resolviendo un modelo computacional utilizando el software CAESAR II [1].

Verificación al aplastamiento de ductos que crucen por debajo de caminos de vehículos, ya sea autopistas o vías de trenes según la norma API RP 1102.

Metodología para determinar la máxima carga axial de diseño en un punto fijo de en bloque de hormigón enterrado [1].

Pautas para el diseño, cálculo y dimensionamiento de la placa de anclaje para punto fijo en un ducto enterrado [2].

Fenómeno de pandeo (buckling) de ductos enterrados [3]. La aplicación más importante es determinar la longitud máxima de la zanja en se requiera descubrir al ducto en servicio (a presión y temperatura de operación) para realizar reparaciones o hot-taps.

Palabras Claves: Ductos, pandeo, carga, enterrados, tensiones.

REFERENCIAS

[1] Liang-Chuan Peng and Tsen-Loong Peng, Pipe Stress Engineering, ASME PRESS, USA, 2009.

[2] Hamdan N. Al-Ghamedy, Analysis and design of pipeline stiffened-anchor plate/flange, Int. J. Ves. & Piping, Vol. - 72, 131-137, 1997.

[3] James M. Gere and Barry J. Goodno, Mecánica de Materiales, CENAGE Learning, México, 2009.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

1 INTRODUCCIÓN

La teoría de Carga de Marston sirve para predecir la capacidad de soportar las cargas de un ducto en varias condiciones de instalación. M. G. Spangler, junto con Marston, desarrolló una teoría para diseños con ductos flexibles. Las computadoras combinadas con técnicas de elementos finitos y modelos sofisticados del suelo, dan herramientas de diseño que permiten trabajos más precisos.

El movimiento principal de un ducto enterrado es generalmente debido a la expansión térmica. El desplazamiento longitudinal debido a la presión (despreciable en ductos de plantas de procesos), contribuye mucho al movimiento total y se debe tener en cuenta en el análisis [1].

Para tener en cuenta todas las sollicitaciones posibles, y además para evidenciar mejor la interacción ducto-suelo, se ha elegido como ejemplo un ducto flexible, entendiendo como tal, en primera aproximación, a aquel que se deforma mucho con relación al diámetro antes que se produzca su colapso. Las sollicitaciones son internas y externas, ver Figura 1.

La capacidad de soportar cargas por parte de un ducto enterrado dependerá de:

- La resistencia intrínseca del ducto y, consecuentemente, su capacidad relativa de deformación.
- La magnitud y distribución de cargas alrededor del ducto.
- El soporte brindado por el terreno circundante.

Los dos primeros factores están vinculados directamente con el tipo de suelo del relleno, y el grado de compactación del suelo de apoyo y lateral, es decir, el grado de rigidez relativo entre ducto y suelo de apoyo.

La teoría tradicional de Marston, originalmente aplicada al caso de ductos rígidos y luego extendida a los flexibles, permitirá evaluar las magnitudes de las cargas debidas al relleno. En cambio, los estudios de Spangler, posibilitarán el análisis de las deflexiones resultantes, de gran aplicación en el caso del cálculo de los ductos flexibles.

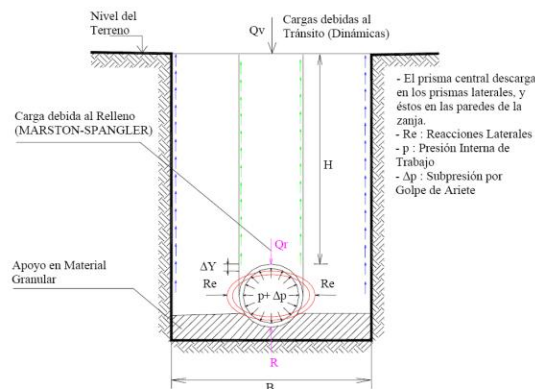


Figura 1 Sollicitaciones en un ducto enterrado.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

2 MODELADO DE DUCTOS ENTERRADOS

2.1 Recomendaciones de la norma ASME B31.1

Esta norma tiene un apéndice (Nonmandatory Appendix VII: Procedures for the Design of Restrained Underground Piping), no-mandatorio, que da los lineamientos generales o recomendaciones para el modelado de tuberías enterradas. Se divide en, cálculos de propiedades y valores necesarios y el modelado en sí [2].

2.2 Modelado en Software CAESAR II

Este software tiene un módulo para el modelado de líneas enterradas. La razón de éste es simplificar la entrada de datos que tiene que ingresar el usuario. Para lograr esta simplificación, el módulo realiza las siguientes funciones:

- Permite el ingreso directo de las propiedades del suelo. Con estos datos, el paquete puede calcular de forma automática los valores de las constantes elásticas de los resortes para el modelado de la línea.
- Discretiza automáticamente los tramos rectos y curvos del ducto, para generar elementos y colocarles los resortes previamente calculados. CAESAR II utiliza un concepto de zonas, para discretizar el ducto. Donde hay cargas transversales (cerca de los codos, Tees, puntos de entradas/salida), los resortes se ubican muy cerca uno del otro, y donde predominan las cargas axiales los resortes se ubican más espaciadamente.
- Permite el ingreso directo de la rigidez del suelo por unidad de longitud de ducto. Los parámetros de entrada incluyen: rigideces axiales, transversales, hacia arriba, hacia abajo, como así también las cargas últimas. El usuario puede especificar rigideces definidas separadamente, o en conjunto con las rigideces generadas automáticamente por el software.
- Permite una vez modelado, obtener desplazamientos, cargas y tensiones y estas compararlas con las admisibles según el código de aplicación, ASME B31.1, B31.3, B31.4, B31.8, etc..

3 VERIFICACIÓN AL APLASTAMIENTO EN ZANJAS Y CRUCES DE CAMINOS

3.1 Verificación del ducto según norma API 1102

Las cargas debidas a la circulación de vehículos son cargas superficiales estáticas o cuasi-estáticas. También se las conoce como cargas vivas [3].

La norma API 1102 es la utilizada y aceptada por las empresas propietarias de los ductos. Para el análisis se siguen los pasos:

- Determinación de las características del ducto, suelo, construcción y operación.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

- Utilizar la fórmula de Barlow, Ecuación (1), para calcular la tensión circunferencial debida a la presión interna. Verificarla contra la máxima tensión admisible.

$$S_{Hi} = \frac{P \times D}{2 \times tw} \leq F \times E \times T \times SMYS \quad (1)$$

Donde:

p = Máxima presión de operación.

D = Diámetro exterior del ducto.

tw = Espesor de pared del ducto.

F = Factor de diseño.

E = Factor longitudinal de junta.

T = Factor de reducción de temperatura.

SMYS = Mínima tensión de fluencia.

- Calcular la tensión circunferencial debida a la carga del suelo, S_{He} .
- Calcular la carga viva externa, w, y determinar el factor de impacto apropiado, F_i .
- Calcular la tensión circunferencial cíclica, ΔSH , y la tensión longitudinal cíclica, ΔSL , debida a la carga viva.
- Calcular la tensión circunferencial debida a la presión interna, S_{Hi} .
- Verificar la tensión efectiva, S_{eff} , de la siguiente manera:
 - Calcular las tensiones principales, S1 en la dirección circunferencial, S2 en la dirección longitudinal y S3 en la dirección radial.
 - Calcular la tensión efectiva, S_{eff} .
 - Compararla contra la tensión admisible, $S_{MYS} \times F$.
- Verificar las soldaduras a la fatiga de la siguiente manera:
 - Verificar la fatiga de la soldadura comparando ΔSL contra el límite de fatiga de la soldadura circunferencial, $S_{FG} \times F$.
 - Verificar la fatiga de la soldadura longitudinal comparando ΔSH contra el límite de fatiga de la soldadura longitudinal, $S_{FL} \times F$.

Si alguna de las verificaciones falla, hay que modificar las condiciones de diseño y repetir el procedimiento.

4 DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTO DE PUNTO FIJO

En un ducto, la condición de restricción es un factor en el comportamiento estructural [4]. El grado de restricción puede ser afectado por aspectos de construcción del ducto, diseño de soportes, propiedades del suelo y tipo de terreno. Los códigos de ductos reconocen dos condiciones de



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

restricción axial, líneas restringidas (restrained lines - R) y líneas sin restringir (unrestrained lines - UR).

Líneas Restringidas (Restrained Lines):

- Tramos rectos de ducto enterrado (U/G = under ground).
- Curvas y ducto adyacente enterrado en suelo rígido o consolidado.

Líneas sin Restringir (Unrestrained Lines):

- Ducto en superficie (A/G= above ground) con flexibilidad apta.
- Curvas y ducto adyacente enterrado en suelo "soft", o no consolidado.
- Ducto enterrado sometido a fuerza de presión en casquete terminal.

Un ducto enterrado (U/G= under ground) tiene tramos o sectores R (fully restrained) y tramos UR (unrestrained), como se indica en la Figura 2.

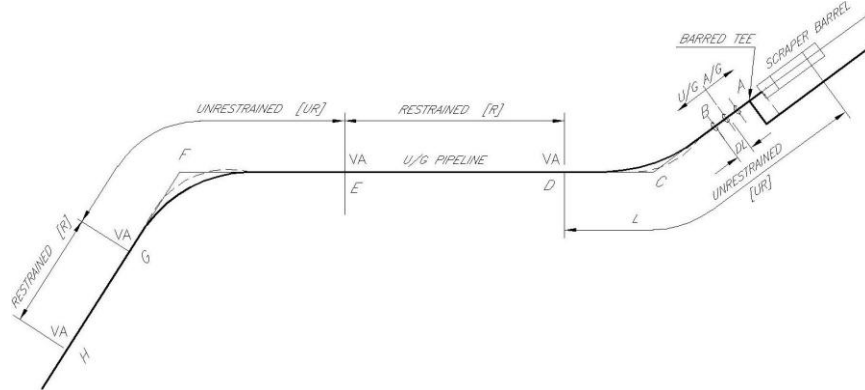


Figura 2 Vista en Planta del Movimiento Longitudinal del Ducto

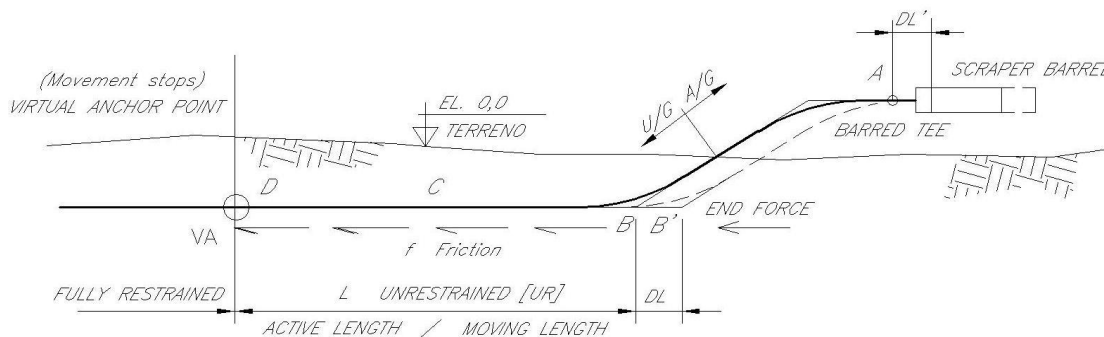


Figura 3 Vista en Elevación de Distribución de Fuerzas

Según la traza indicada en las Figuras 2 y 3, podemos determinar que cuando un ducto es presurizado y alcanza la temperatura del fluido que transporta, los puntos B, C y F comienzan a moverse. Este desplazamiento longitudinal (DL), se produce básicamente por la elongación por presión (pressure elongation case) y por la expansión térmica del ducto (thermal expansion case). El mismo genera una fuerza por fricción con el suelo que es proporcional a la longitud del tramo de



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

ducto en movimiento. Si la fuerza de fricción generada por el ducto es de suficiente magnitud para detener la expansión, el movimiento se anula.

- Los puntos D, E, G y H donde el movimiento es cero (punto de desplazamiento “cero”), son llamados “anclajes virtuales” (VA = virtual anchor point).
- Los tramos de ducto DE y HG donde los desplazamientos son cero son llamados “restringidos” (R= fully restrained)
- Los tramos de ducto BCD y EFG donde se registran desplazamientos longitudinales (DL) son llamados “no restringidos” (UR= unrestrained) o “longitud activa” (active length) o “longitud en movimiento” (moving length)

4.1 Criterio de análisis

El siguiente criterio, es el utilizado por Techint para la definición de indicación o requerimiento de anclaje de hormigón enterrado:

Dn [in]	DL adm. [mm]
14” y menores	25
16” y mayores	15

Tabla 1 Máximo DL, en barred tee, sin anclaje en ducto

La Tabla 1 indica, de acuerdo a prácticas de diseño, el máximo desplazamiento longitudinal admisible (DL adm) que puede tomar la Tee Barrada (barred tee) de la trampa scraper, sin anclaje en el ducto. Se debe cumplir $DL < DL \text{ adm}$.

Estos desplazamientos pueden ser razonablemente absorbidos por la propia trampa scraper, realizando un diseño seguro de los soportes deslizantes guiados de la misma y por la flexibilidad de los ductos en superficie (A/G), que se conectan con la trampa scarper.

Se debe prestar especial atención a las posibles interferencias producidas por la carrera de la trampa e instalaciones asociadas, con instalaciones fijas como bases de soportes o plataformas.

Las tensiones computadas deben estar por debajo de las máximas admisibles, según el código de ductos que aplique.

En caso de registrarse desplazamientos mayores a los indicados en la Tabla 1, o se computen sobre-tensiones, se deberán evaluar las siguientes soluciones:

- Usar accesorios de derivación de mayor espesor.
- Implementar un procedimiento de llenado de zanja y tapada que permita el desplazamiento lateral de la derivación (branch): material soft de llenado, trinchera, ducto camisa, etc.
- Instalar un anclaje de hormigón enterrado, próximo a la barred tee, para controlar los desplazamientos longitudinales.



5 DETERMINACIÓN DE FUERZA SOBRE ANCLAJE DE HORMIGÓN

Para instalaciones donde las configuraciones de ductos son muy rígidas o bien, las condiciones de temperatura y presión son elevadas, los desplazamientos en superficie deben ser mínimos [4].

Un anclaje puede ser sometido tanto a tracción como a compresión, ver Figura 4. El valor máximo de ambas fuerzas se determina para la peor combinación de presión y temperatura, condiciones que se pueden encontrar durante la prueba hidráulica, en operación o en shutdown.

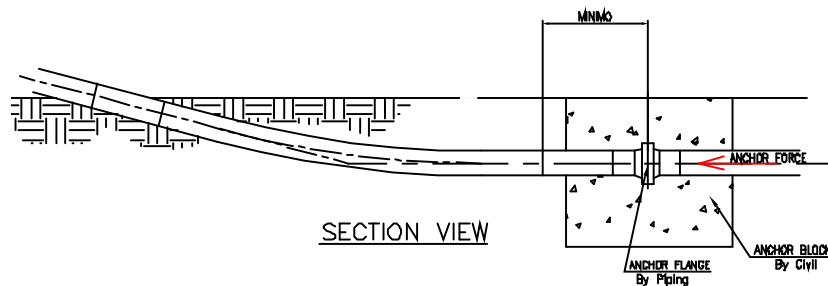


Figura 4 Fuerza en Anclaje

5.1 Carga en el anclaje de hormigón

Según la Ecuación (2):

$$F_a = F_T - F_v + F_p \quad (2)$$

Donde:

F_T = Fuerza debido a la variación de temperatura.

F_v = Fuerza debido al efecto Poisson.

F_p = Fuerza debido al efecto longitudinal de la presión.

5.2 Cálculo de la fuerza debido a la variación de la temperatura

Según la Ecuación (3):

$$F_T = A \times E \times \alpha \times (T_1 - T_2) \quad (3)$$

Donde:

A = Área transversal del ducto.

E = Módulo de elasticidad del ducto (210 MPa, para acero a temperatura ambiente).

α = Coeficiente de dilatación térmica (11.7×10^{-6} mm/mm°C, para acero a temperatura ambiente).

T_1 = Máxima o mínima temperatura de operación.

T_2 = Temperatura de instalación.

5.3 Cálculo de la fuerza debido al efecto de Poisson

Según la Ecuación (4):

$$F_v = A \times v \times Sh \quad (4)$$



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

Donde:

A = Área transversal del ducto.

ν = Coeficiente de Poisson (0,3 para acero).

Sh = Tensión circunferencial debido a la presión del fluido, Ecuación (5).

$$Sh = \frac{P \times D}{2(t - a)} \quad (5)$$

Donde:

P = Presión interna.

D = Diámetro exterior del ducto.

t = Espesor nominal del ducto.

a = Sobre-espesor por corrosión.

5.4 Cálculo de la fuerza debido al efecto longitudinal de la presión

Según la Ecuación (6):

$$F_p = A \times 0.5 \times Sh \quad (6)$$

Donde:

A = Área transversal del ducto.

Sh = Tensión circunferencial debido a la presión del fluido, Ecuación (5).

Reemplazando las Ecuaciones (3) a (6) en la (2) se obtiene la Ecuación (7):

$$F_a = A[E \times \alpha \times (T_1 - T_2) + (0,5 - \nu) \times Sh] \quad (7)$$

En la Ecuación (7) se observa que la fuerza sobre el anclaje de hormigón es máxima cuando se produce la mayor variación de temperatura para la máxima presión de operación.

6 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLACA DE ANCLAJE

Se utilizan placas fabricadas con chapa soldada sobre el ducto, reforzadas con escuadras radiales, ver Figura 5. Se considera que el bloque de hormigón está fijo y la fuerza de empuje originada por el ducto se transmite a través de la placa de anclaje al bloque. Esto provoca una carga distribuida sobre el disco que forma la placa [5].

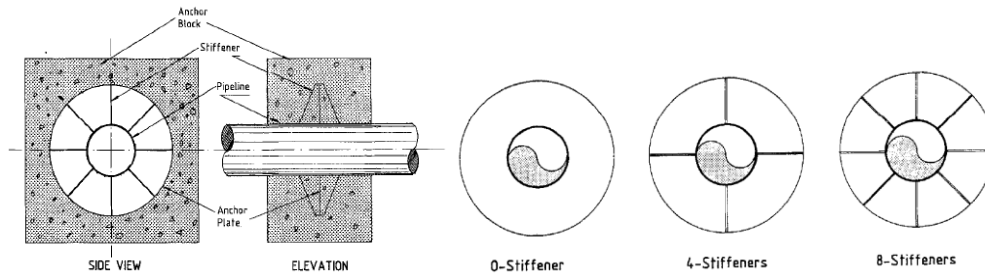


Figura 5 Placa de anclaje con rigidizadores

6.1 Método de Cálculo

El método de cálculo utilizado presenta fórmulas, curvas y tablas obtenidas por métodos de elementos finitos. El cálculo de la placa de anclaje se realiza considerando la fuerza obtenida con la Ecuación (7), la tensión admisible de compresión del concreto, la fluencia del acero (A36), la tensión admisible del acero, el Módulo de elasticidad y la cantidad de rigidizadores.

6.1.1 Determinación del diámetro de la placa circular

Según la Ecuación (8):

$$D_{pt} = \sqrt{D_{pp}^2 + 4F/\pi \cdot q_{al}} \quad (8)$$

Donde:

D_{pp} = Diámetro del ducto.

F = Fuerza sobre el anclaje, de Ecuación (7).

q_{al} = Tensión admisible de compresión del concreto (14.7 Mpa).

6.1.2 Determinación del espesor de la placa circular

Según la Ecuación (9):

$$t = C \cdot D_{pt} \sqrt{q_{al} / \sigma_{al}} \quad (9)$$

Donde:

C = Constante de Tabla 2.

σ_{al} = Tensión admisible del acero (187.5 Mpa).

6.1.3 Determinación de la deflexión de placa

$$\text{Deflexion max} = k \cdot q_{al} \cdot D_{pt}^4 / E \cdot t^3 \quad (10)$$

Donde:

k = Constante de Tabla 2.

E = Módulo de elasticidad (207000 Mpa).



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

D_{pl}/D_{pp}	0-stiffener		4-stiffeners		8-stiffeners	
	C	k	C	k	C	k
1	0	0	0	0	0	0
1-043	3-644 (10) ⁻²	2-636 (10) ⁻⁷	3-644 (10) ⁻²	2-636 (10) ⁻⁷	3-642 (10) ⁻²	2-633 (10) ⁻⁷
1-091	7-350 (10) ⁻²	4-266 (10) ⁻⁶	7-350 (10) ⁻²	4-265 (10) ⁻⁶	7-347 (10) ⁻²	4-259 (10) ⁻⁶
1-143	1-111 (10) ⁻¹	2-183 (10) ⁻⁵	1-111 (10) ⁻¹	2-181 (10) ⁻⁵	1-108 (10) ⁻¹	2-135 (10) ⁻⁵
1-2	1-493 (10) ⁻¹	6-965 (10) ⁻⁵	1-497 (10) ⁻¹	6-970 (10) ⁻⁵	1-466 (10) ⁻¹	6-285 (10) ⁻⁵
1-263	1-891 (10) ⁻¹	1-709 (10) ⁻⁴	1-893 (10) ⁻¹	1-722 (10) ⁻⁴	1-760 (10) ⁻¹	1-330 (10) ⁻⁴
1-333	2-304 (10) ⁻¹	3-574 (10) ⁻⁴	2-299 (10) ⁻¹	3-569 (10) ⁻⁴	1-985 (10) ⁻¹	2-238 (10) ⁻⁴
1-412	2-727 (10) ⁻¹	6-672 (10) ⁻⁴	2-705 (10) ⁻¹	6-535 (10) ⁻⁴	2-169 (10) ⁻¹	3-187 (10) ⁻⁴
1-5	3-162 (10) ⁻¹	1-146 (10) ⁻³	3-111 (10) ⁻¹	1-079 (10) ⁻³	2-357 (10) ⁻¹	4-023 (10) ⁻⁴
1-6	3-610 (10) ⁻¹	1-845 (10) ⁻³	3-488 (10) ⁻¹	1-641 (10) ⁻³	2-477 (10) ⁻¹	4-669 (10) ⁻⁴
1-714	4-071 (10) ⁻¹	2-822 (10) ⁻³	3-827 (10) ⁻¹	2-319 (10) ⁻³	2-534 (10) ⁻¹	5-095 (10) ⁻⁴
1-846	4-547 (10) ⁻¹	4-139 (10) ⁻³	4-113 (10) ⁻¹	3-081 (10) ⁻³	2-553 (10) ⁻¹	5-351 (10) ⁻⁴
2	5-040 (10) ⁻¹	5-861 (10) ⁻³	4-331 (10) ⁻¹	3-874 (10) ⁻³	2-579 (10) ⁻¹	5-488 (10) ⁻⁴
2-182	5-552 (10) ⁻¹	8-054 (10) ⁻³	4-472 (10) ⁻¹	4-630 (10) ⁻³	2-595 (10) ⁻¹	5-567 (10) ⁻⁴
2-4	6-083 (10) ⁻¹	1-078 (10) ⁻²	4-527 (10) ⁻¹	5-309 (10) ⁻³	2-609 (10) ⁻¹	5-594 (10) ⁻⁴
2-667	6-640 (10) ⁻¹	1-410 (10) ⁻²	4-491 (10) ⁻¹	5-876 (10) ⁻³	2-612 (10) ⁻¹	5-603 (10) ⁻⁴
3	7-225 (10) ⁻¹	1-806 (10) ⁻²	4-393 (10) ⁻¹	6-287 (10) ⁻³	2-615 (10) ⁻¹	5-596 (10) ⁻⁴
3-429	7-841 (10) ⁻¹	2-269 (10) ⁻²	4-423 (10) ⁻¹	6-575 (10) ⁻³	2-627 (10) ⁻¹	5-606 (10) ⁻⁴
4	8-504 (10) ⁻¹	2-800 (10) ⁻²	4-451 (10) ⁻¹	6-747 (10) ⁻³	2-609 (10) ⁻¹	5-604 (10) ⁻⁴
4-8	9-224 (10) ⁻¹	3-396 (10) ⁻²	4-474 (10) ⁻¹	6-834 (10) ⁻³	2-612 (10) ⁻¹	5-591 (10) ⁻⁴
6	1-002	4-049 (10) ⁻²	4-479 (10) ⁻¹	6-869 (10) ⁻³	2-621 (10) ⁻¹	5-589 (10) ⁻⁴
8	1-098	4-742 (10) ⁻²	4-489 (10) ⁻¹	6-884 (10) ⁻³	2-625 (10) ⁻¹	5-594 (10) ⁻⁴
12	1-213	5-442 (10) ⁻²	4-501 (10) ⁻¹	6-884 (10) ⁻³	2-631 (10) ⁻¹	5-611 (10) ⁻⁴
24	1-370	6-084 (10) ⁻²	4-518 (10) ⁻¹	6-884 (10) ⁻³	2-549 (10) ⁻¹	5-574 (10) ⁻⁴

Tabla 2 Valores de C y k

6.2 Cálculo de la soldadura

Los cordones de soldadura que unen la placa con el ducto deberán soportar la fuerza axial, Ecuación (7), en su totalidad y transferirla al anclaje. Se considera a la soldadura como una línea sometida a esfuerzos de corte [6].

El espesor de garganta de soldadura mínimo admisible, w, deberá ser menor al espesor del ducto, según la Ecuación (11):

$$w = \frac{f}{f_{ADM}} \quad (11)$$

Donde:

f_{ADM} = Esfuerzo lineal de soldadura admisible (8800 in lbf / in).

f = Esfuerzo lineal, según la Ecuación (12).

$$f = \frac{V}{Aw} \quad (12)$$

Donde:

Aw = Longitud lineal de soldadura.

V = Fuerza de corte, igual a la fuerza axial, Ecuación (7).

7 PANDEO EN DUCTOS

Cuando se requiere descubrir el ducto en servicio (a presión y temperatura de operación) para realizar reparaciones es necesario determinar la longitud máxima de la zanja [7].

7.1 Determinación de la longitud máxima de zanja

Conociendo la carga axial que actúa en el ducto, Ecuación (7), lo que se quiere averiguar es la longitud máxima, Lmax, que puede tener un tramo destapado del ducto sin que pandee.

Si de la expresión de la carga crítica de pandeo despejamos la longitud, tenemos, según la Ecuación (13):



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

$$F_{\text{caxial}} = C \pi^2 \frac{EA}{L_{\text{max}}^2} \quad \therefore L_{\text{max}} = \pi \rho \sqrt{C \frac{EA}{F_{\text{axial}}}} \quad (13)$$

Donde:

A = área de la sección transversal del caño.

ρ = radio de giro de la sección.

C = constante que depende de las condiciones de fijación de los extremos.

E = Módulo de elasticidad.

8 CONCLUSIONES

El presente trabajo resume los tipos de análisis que realiza el Sector de Piping de Techint Ingeniería y Construcción en proyectos de ductos enterrados. Si bien estos no abarcan la totalidad de los análisis que requieren realizarse en el proyecto, construcción y mantenimiento de ductos, se incluyeron la mayoría de los problemas de resistencia estructural que pueden presentarse.

En la industria está muy difundida la equivocada idea de que en los ductos enterrados los desplazamientos se anulan completamente. No considerarlos en el diseño de instalaciones de superficie puede generar los problemas que se evidencian en la Figura 6.



Figura 6 Desplazamientos en Trampa de Scraper de Ø20"

A veces, cuando se requiere limitar estos desplazamientos, es necesario montar un anclaje, ver Punto 4. La carga, Ecuación (7), sobre un anclaje es directamente proporcional al diámetro y



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

espesor del ducto y a las condiciones de presión y temperatura. Esta puede alcanzar varios cientos de toneladas y por consiguiente, el volumen de hormigón necesario es muy considerable, ver Tabla 3. Es fundamental disponer de este dato en etapas tempranas del proyecto.

Ø DUCTO [in]	PRESION [Kpa]	Delta T [°C]	DILATACION [mm]	REQUIERE BLOQUE DE HORMIGÓN	CARGA SOBRE BLOQUE DE HORMIGÓN [Tn]	ESTIMACIÓN DE VOLUMEN DE HORMIGÓN [m³]
12"	6865	5	12	NO	-	-
		47	135	SI	252	55
		89	377	SI	459	185
14"	6865	5	12	NO	-	-
		47	142	SI	298	75
		89	370	SI	542	245
16"	6865	5	13	NO	-	-
		47	152	SI	387	135
		89	375	SI	702	370
18"	6865	5	14	NO	-	-
		47	152	SI	421	160
		89	375	SI	759	415
20"	6865	5	15	NO	-	-
		47	173	SI	585	280
		89	398	SI	1060	575
24"	6865	5	17	SI	158	40
		47	186	SI	842	400
		89	404	SI	1526	975
28"	6865	5	18	SI	215	50
		47	191	SI	1146	670
		89	403	SI	2077	1400
30"	6865	5	19	SI	247	55
		47	193	SI	1315	790
		89	400	SI	2384	1700
32"	6865	5	20	SI	281	70
		47	190	SI	1497	875
		89	389	SI	2712	1990

Tabla 3 Valores Orientativos de Carga y Volumen en Anclajes

9 REFERENCIAS

- [1] Ing. Luis E. Pérez Farrás - Ing. Sandra M. Pérez, Nociones Sobre Cálculo Estructural de Conducciones Enterradas, Cátedra de Construcciones Hidráulicas, Departamento de Hidráulica, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, 2003.
- [2] ASME B31.1, Power Piping, 2012.
- [3] API 1102, Steel Pipelines Crossing Railroads and Highways, 2007.
- [4] Liang-Chuan Peng and Tsen-Loong Peng, Pipe Stress Engineering, ASME PRESS, USA, 2009.
- [5] Hamdan N. Al-Ghamedy, Analysis and design of pipeline stiffened-anchor plate/flange, Int. J. Ves. & Piping, Vol. - 72, 131-137, 1997.
- [6] Omer W. Blodgett, Design of Welded Structures, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, USA, 1975.
- [7] James M. Gere and Barry J. Goodno, Mecánica de Materiales, CENAGE Learning, México, 2009.