

Aplicación de las ecuaciones de energía y de cantidad de movimiento en el cálculo de bloques de anclajes para tuberías

Application of the energy equations and momentum in the calculation of anchor blocks for pipes.

Josué Rodríguez Santos

Fecha de recepción:
1 de septiembre, 2014

Fecha de aprobación:
6 de noviembre, 2014

Resumen

En la instalación de tuberías sometidas a presión interna, en los cambios de dirección y montaje de piezas especiales, se genera fuerzas dinámicas, empujes o esfuerzos que tienden a desacoplarlas, razón por la cual es imprescindible la construcción de bloques de anclaje, los mismos que absorberán los empujes y esfuerzos producidos por la energía del fluido para así garantizar la estabilidad del sistema, cabe indicar que la capacidad soportante de los bloques de anclaje queda definida por dos componentes: 1) La componente debida al peso propio del bloque de anclaje, y 2) La componente generada por la fuerza de fricción entre el bloque de anclaje y el terreno. Mientras que para los tramos rectos de tubería podemos asumir que los esfuerzos y empujes producidos por el fluido son absorbidos por la compactación de la tierra en la zanja.

Palabras Claves: ecuación de energía, cantidad de movimiento, bloques de anclaje

Abstract

When installing pipes under internal pressure, there are changes in direction and in the assembling of special parts. Dynamic forces, thrusts or efforts tend to disengage them. That's why building anchor blocks are essential. They will absorb the thrusts and efforts produced by fluid energy to guarantee the stability of the system. The bearing capacity of the anchor block is defined by two components: 1) the component due to the weight of the anchor block, and 2) the component generated by the friction force between the anchor block and the terrain. While for the straight pipe we can assume that the efforts and thrusts produced by the fluid are absorbed by soil compaction in the trench.

Keywords: energy equation, momentum, anchor blocks.

Josué Edilberto Rodríguez Santos, MAE, Ingeniero. Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, Av. De las Américas No. 70, Apartado Postal 11-33. Guayaquil - Ecuador, erodriguezs@ulvr.edu.ec

Introducción

Consideraciones generales.- En la aplicación de las ecuaciones de energía y de cantidad de movimiento (Hidráulica de los Canales Abiertos, Ven Te Chow.) es necesario precisar las consideraciones siguientes:

- La ecuación de la Cantidad de Movimiento es vectorial, considera condiciones externas y fuerzas totales, además no toma en cuenta los cambios internos de energía.
- La ecuación de la Energía es escalar, considera los cambios internos de energía y no las fuerzas totales, ni condiciones externas.
- Varios son los problemas que se resuelven con una sola de las dos ecuaciones.
- En otros casos, la condición del problema hace necesario usar las dos ecuaciones.
- La selección de la ecuación requerida en la solución del problema, está en función de la energía o de las fuerzas totales del flujo.
- El coeficiente de Coriolis “ α ”, que varía entre 1,03 – 1,36, y el coeficiente de Boussinesq “ β ” que varía entre 1,01 - 1,12. Si no se indica lo contrario, se asume que se trata de flujo permanente, incompresible y con distribución uniforme de velocidades, condiciones antes citadas para las cuales $\alpha = \beta = 1$.

Debido a la distribución no uniforme de velocidades en una sección dada, en la expresión de la energía cinética $\frac{V^2}{2 \cdot g}$.

El coeficiente de Coriolis representa la relación que existe, entre la energía real y la que se obtendría considerando una distribución uniforme de velocidades, razón por la cual la altura de velocidad real se expresa como $\alpha \frac{V^2}{2 \cdot g}$ (Chow, 1983).

Mientras que el coeficiente de Boussinesq o momentum, considera la afectación que sufre la cantidad de movimiento en un fluido que pasa a través de una sección dada por unidad de tiempo, debido a la distribución no uniforme de velocidades (Díaz, 2006).

Leyes de la termodinámica

La primera determina el balance de energía y la segunda ley establece el sentido en el que se produce el intercambio de energía, es decir se refiere exclusivamente a estados de equilibrio (Resnick 2008), para lo cual se considera los sistemas siguientes:

Volumen de control

Se presenta cuando a un fluido en movimiento se aísla de forma ideal (VC), confinado por una superficie cerrada,

Superficie de control

Es superficie cerrada, o la frontera (SC), que contiene al volumen de control.

El volumen y superficie de control, indicadas en la Figura 1. Como acción del medio que rodea al volumen de control se generan fuerzas de diferente magnitud y dirección distribuidas sobre toda la superficie de control (Sotelo, 1995).

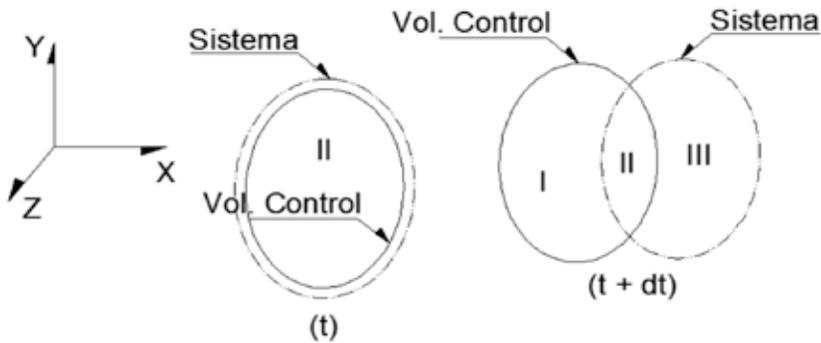


Figura 1. Superficie del volúmen de control

En el presente estudio se considera los parámetros siguientes:

N.- Representa la cantidad total de alguna propiedad (masa, cantidad, movimiento, energía, etc.)

n.- Representa la distribución por unidad de masa de esta propiedad del fluido.

$$N_{sis(t+dt)} - N_{sis(t)} = \left(\int_{II} n \rho dv + \int_{III} n \rho dv \right)_{(t+dt)} - \int_{II} n \rho dv_{(t)} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\frac{N_{sis(t+dt)} - N_{sis(t)}}{dt} = \frac{\left(\int_{II} n \rho dv + \int_{I} n \rho dv \right)_{t+dt} - \left(\int_{II} n \rho dv \right)_t}{dt} + \frac{\int_{III} n \rho dv_{(t+dt)}}{dt} - \frac{\int_{I} n \rho dv_{(t+dt)}}{dt}$$

$$\lim_{dt \rightarrow 0} \left(\frac{N_{sis(t+dt)} - N_{sis(t)}}{dt} \right) = \frac{dN}{dt} \quad (\text{rápidez de crecimiento de N dentro del sistema})$$

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\left(\int_{II} n \rho dv + \int_{I} n \rho dv \right)_{t+dt} - \left(\int_{II} n \rho dv \right)_t}{dt}$$

Dónde

$$\frac{\left(\int_{II} n \rho dv + \int_{I} n \rho dv \right)_{t+dt}}{dt} \quad \text{Cantidad N total dentro del Volumen de control en (t+dt)}$$

$$\frac{-\left(\int_{II} n \rho dv \right)_t}{dt} \quad \text{Cantidad N total dentro del Volumen de control en (t)}$$

Expresándose como $\frac{d}{dt} \int_{VC} n \rho dv$

$$\lim_{dt \rightarrow 0} \left(\frac{\int_{VC} n \rho dv_{t+dt}}{dt} \right) = \int n \rho \vec{v} \cdot \vec{dA} \quad \text{donde } dQ = \frac{dv}{dt} = \vec{v}^* dA \quad (\text{Área elemental de salida})$$

Al resolver el sistema anterior se genera la Ecuación General de la variación del volumen de control, expresada como:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{vc} n \rho dv + \int_{sc} n \rho \vec{v} \cdot \vec{dA}$$

Ecuación de Continuidad.- En la mecánica de fluidos establece una ecuación de conservación de la masa, expresada como:

$$\frac{dm}{dt} = 0 \quad \therefore N = m$$

por consiguiente $n = \frac{m}{m} = 1$

$$0 = \frac{d}{dt} \int_{vc} \rho dv + \int_{sc} \rho \vec{v} \cdot \vec{dA}$$

Ecuación de Energía.- Considera la primera ley de termodinámica, la misma que establece que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma.

$Q_H - W = E_2 - E_1$, donde:

Q_H - Calor entregado al sistema

W - Trabajo entregado.

e - Energía interna por unidad de masa, donde $n = \frac{\rho e}{\rho}$

$N = E$ - Cantidad total de energía.

De resolver las ecuaciones anteriores, considerando presiones y corte, tenemos:

$$\frac{dQ_H}{dt} - \frac{dW_s}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{vc} \rho e dv + \int_{sc} \left(\frac{\rho}{\rho} e \right) \rho \vec{v} \cdot \vec{dA}$$

En ausencia de efectos, nucleares, magnéticos, eléctricos:

$$e = gz + \frac{v^2}{2} + \vartheta \quad \text{donde } \vartheta \rightarrow (P, \rho, t)$$

Ecuación de Cantidad de Movimiento Lineal.- Es la cantidad de movimiento definido como el producto de la masa del cuerpo y su velocidad en un instante determinado.

$$\text{Sea } N = m\vec{v} \quad n = \frac{p\vec{v}}{p} \quad \Sigma F = \frac{d}{dt} (m\vec{v})$$

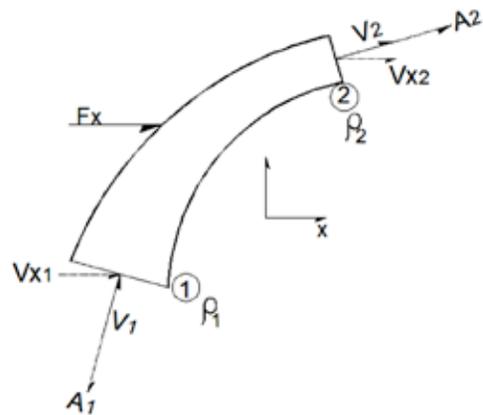
En base a las consideraciones anteriores se tiene:

$$\Sigma F = \frac{\partial}{\partial t} \int_{vc} \rho \cdot \vec{V} \cdot dv + \int_{sc} \rho \cdot \vec{V} \cdot \vec{V} \cdot \vec{dA}$$

$$\Sigma F_x = \frac{\partial}{\partial t} \int_{vc} \rho \cdot V_x \cdot dv + \int_{sc} \rho \cdot V_x \cdot \vec{V} \cdot \vec{dA}$$

Comentario.- La fuerza resultante que actúa en un volumen de control de cantidad es igual a la rapidez con que aumenta la cantidad de movimiento con que entra dentro del volumen de control, más el flujo neto de cantidad de movimiento que está saliendo del volumen de control.

Para flujo permanente e incomprensible, se tiene:



$$\frac{\partial}{\partial t} = 0$$

$$F_x = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2 \cdot V_{x2} - \rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 \cdot V_{x1}$$

$$F_x = Q \rho_2 V_{x2} - Q \rho_1 V_{x1}$$

$\therefore \rho Q = \rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 =$ Cantidad de masa que entra y sale del volumen de control

$$F_x = \rho Q (V_{x2} - V_{x1})$$

Siendo el factor de corrección

$$\int_A \rho V^2 dA = \beta \rho \bar{V}^2 A$$

$$\beta = \frac{1}{A} \int_A \left(\frac{V}{\bar{V}}\right)^2 dA \quad \text{Factor de corrección}$$

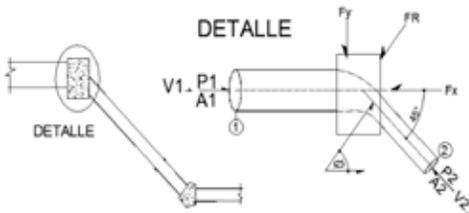
de la ecuación de Cantidad de Movimiento

$$\therefore \beta = \frac{4}{3} \quad \text{Para flujo laminar y tubería circular}$$

$$\beta = 1 \quad \text{Para flujo uniforme}$$

Metodología

Cálculo tipo.- A una tubería de diámetro $\varnothing 1=400$ mm instalada horizontalmente, se ha colocado un codo reductor de 45° , con diámetro $\varnothing 2=300$ mm (ver esquema ilustrativo), tubería por la cual circula un caudal $Q = 100$ l/s, si la tubería de 400 mm soporta 5 m.c.a. Determinar la fuerza a la que está sometido el codo y calcular el volumen del bloque de anclaje para mantener el sistema en equilibrio.



Consideraciones:

Kg(m).- Kilogramo masa

Kgf.- Kilogramo fuerza

$$\frac{1000}{9,81} \text{ Kg(m)} = 101,94 \text{ Kgf}$$

Cálculo de las velocidades de circulación del fluido

De aplicar la ecuación de continuidad:

$$Q = A \cdot V, \quad \text{para } Q=0,10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Dónde: } A_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,400^2}{4} = 0,126 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0,071 \text{ m}^2$$

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0,10}{0,126}$$

$$V_1 = 0,796 \text{ m/s} \quad \text{para el punto 1 y}$$

$$V_2 = 1,415 \text{ m/s} \quad \text{para el punto 2}$$

Cálculo de la presión en el punto 2

Aplicando Bernoulli entre los puntos 1 y 2

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde $Z_i = 0$ Por estar instalada en un plano horizontal

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} - \frac{1}{2g} (V_2^2 - V_1^2)$$

$$P_2 = P_1 - \frac{\gamma}{2g} (V_2^2 - V_1^2)$$

$$P_2 = 5000 - \frac{1000}{19,62} (1,415^2 - 0,796^2),$$

es decir

$$P_2 = 4930 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$$

Cálculo de la Fuerza Horizontal "Fx"

Cálculo de la Fuerza Horizontal "Fx"

$$\sum Fx = \rho Q (V_{x2} - V_{x1})$$

$$P_1 A_1 - P_2 A_2 \cos 45^\circ - Fx = \rho Q (V_{x2} - V_{x1})$$

$$5000 * 0,126 - 4930 * 0,071 * \cos 45 - Fx = \frac{1000}{9,81} * 0,10 (1,415 * \cos 45 - 0,796)$$

$$Fx = 380 \text{ Kgf}$$

Cálculo de la Fuerza Vertical "Fy"

$$\sum Fy = \rho Q (V_{y2} - V_{y1})$$

$$P_2 A_2 \sin 45^\circ - Fy = \frac{1000}{9,8} * 0,10 (-1,415 * \sin 45 - 0)$$

$$4930 * 0,071 * \sin 45 - Fy = -10,199, \text{ de donde}$$

$$Fy = 257 \text{ Kgf}$$

Cálculo de la Fuerza Resultante "F"

$$|F| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{380^2 + 257^2}, \text{ por lo tanto } |F| = 458 \text{ Kgf}$$

Cálculo de la dirección de aplicación de "F"

$$\tan \theta = \frac{257}{380} = \theta = 34,07^\circ$$

Diseño del bloque.- Se asume el coeficiente de fricción del bloque con el terreno $f = 0,75$

$$F = \frac{F}{f} = \frac{458}{0,75}$$

$$F = 610 \text{ Kgf}$$

$$\text{Volumen} = \frac{F}{\gamma} = \frac{610}{2200} = 0,28 \text{ m}^3$$

Nota.- En el diagrama adjunto se presenta la variación del volumen del bloque de anclaje, para las cargas de presión indicadas, el diámetro Ø1 permanecerá constante en 400 mm, mientras que el diámetro Ø2 será (300, 200 y 150) mm respectivamente, además se considera los datos siguientes:

Peso específico hormigón = 2200 kg/m³

Peso específico del agua = 1000 kg/m³

Cambio de dirección = codo 45°

Coefficiente de fricción = 0,75 (bloque – terreno)

Caudal de circulación = 0,10 m³/s

Tabla 1. Resumen de Mediciones

CUADRO RESUMEN				
H [m.c.a.]	Bloque Anclaje [m ³] para tuberías Ø2 en mm			Volumen del Bloque de Anclaje Vs. H [m.c.a.]
	300	200	150	
5	0,28	0,32	0,34	
10	0,55	0,64	0,68	
15	0,83	0,96	1,03	
20	1,10	1,28	1,37	
25	1,38	1,60	1,72	
30	1,65	1,92	2,06	
35	1,92	2,24	2,41	

Conclusiones

En tuberías sometidas a presión interna, el cambio en la dirección de la tubería genera una fuerza dinámica, empujes o esfuerzos que tienden a desacoplarlas, esta fuerza es necesario determinarla para calcular el peso y el volumen del bloque de anclaje, con el objetivo de mantener el sistema en equilibrio.

Además, para de cambios de temperatura (más de 15°C), se deberá añadir los empujes o tracciones provocadas por las dilataciones o contracciones de la tubería.

La fuerza dinámica generada por el fluido en el cambio de sección, se incrementa, conforme el diámetro de la tubería disminuye.

El volumen del bloque de anclaje es inversamente proporcional al diámetro de la reducción.

Los bloques de anclaje se localizaran en:

- Los cambios de dirección con tees, codos, etc.
- Los cambios de diámetro - reducciones.

- Las válvulas de compuerta.
- Los terminales de línea cuando se usan tapones.
- En curvas verticales, si el relleno no es suficiente, se deberá anclar la tubería.

Referencias

- Chow, V. (1983). Hidráulica de los Canales Abiertos. México: Editorial Diana
- Díaz, J. (20069). Mecánica de los Fluidos. Universidad del Valle. Cali: Colombia
- Gobierno de Santa Fe. (2014). Memorias técnicas bloques de anclaje. Ministerio de Aguas, servicios públicos y medio ambiente, secretaria de aguas. Recuperado de www.santafe.gov.ar/index.php
- Harry, A. (2012). Primera ley de la termodinámica. Recuperado de <http://prezi.com/817nry-ablpw/primera-ley-de-la-termo-dinamica/>
- Resnick, H. K. (2008). Física de Resnick (5a ed.) (Vol. 1). México: Editorial Patria.
- Sotelo, G. (2002). Hidráulica General. México: Editorial Limusa.

Para citar este artículo utilice el siguiente formato:

Rodríguez, J. (diciembre, 2014). Aplicación de las ecuaciones de energía y de cantidad de movimiento en el cálculo de bloques de anclaje para tuberías. *YACHANA, Revista Científica*, 3(2), 20-26.