



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD ZACATENCO
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**II ENCUENTRO "EL POSGRADO EN LA INGENIERÍA CIVIL", ESIA U. ZACATENCO,
MAYO 21 AL 23 DEL 2012.**

DETECCIÓN DE FUGAS POR CAIDA DE PRESIÓN

Omar Uribe Hernández, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, ESIA U. Zacatenco (Hidráulica), correo: ommuribdelah@hotmail.com

RESUMEN

En México uno de los energéticos más importantes es el Gas Natural, siempre se debe tener cuidado en el manejo de este combustible, el descuido o el mal trato de las redes de distribución pueden ocasionar accidentes que generen tanto pérdidas humanas como materiales. A pesar de que sólo pasa en raras ocasiones, una fuga de gas natural puede algunas veces ocurrir. Una fuga de gas natural puede ser peligrosa porque aumenta los riesgos de un incendio o explosión. El problema de estudio es acerca de las fugas de gas natural en tuberías de acero al carbón de 4 pulgadas de diámetro, con las siguientes condiciones: Gas Perfecto, Flujo no Uniforme, Flujo no Permanente, Flujo Bidimensional y Flujo Isotérmico. El estudio se hará en dos prototipos, que al realizar una serie de ensayos donde se hagan simulaciones de fugas, estas simulaciones se harán a través de una serie de válvulas colocadas a una distancia igual entre cada válvula, para poder observar el comportamiento de la tubería se colocaran manómetros para así observar la presión que se tiene en cada punto donde se realizara la simulación de la fuga. También cabe destacar que en cada extremo de los prototipos se colocara un medidor para poder ver la cantidad de fluido (en este caso aire) que entra y el que sale, para así poder definir qué porcentaje es el que se pierde en las fugas detectadas. Palabra clave: Fugas.

INTRODUCCIÓN

A pesar de que sólo pasa en raras ocasiones, una fuga de gas natural puede algunas veces ocurrir. Una fuga de gas natural puede ser peligrosa porque aumenta los riesgos de un incendio o explosión.

Entre las causas que pueden generar una fuga podemos encontrar

- Originadas por efectos del hombre, estas son por un descuido en el momento que se esté construyendo algún tipo de estructura cerca de estas tuberías.
- Originadas por daños en los materiales de construcción, generalmente al momento de estar colocando los materiales y accesorios para el tendido de las tuberías a simple vista es difícil detectar algún daño en estos, pero al aplicar una prueba de hermeticidad con un termomanómetro se puede detectar las fugas.

HIPOTESIS

El problema de estudio en esta tesis es acerca de las fugas de gas natural en tuberías de acero al carbón de 4 pulgadas de diámetro, ya que son las tuberías que se encuentran con mayor facilidad en el D.F. y en la Zona metropolitana, la hipótesis de partida de este trabajo es que a

través del estudio en dos prototipos, el comportamiento de las presiones en secciones fijas en una tubería se pueden detectar las fugas en ésta al verificando experimentos la variación de los primeros manómetros en tramos diferentes, teniendo las válvula entre ellos para simular una fuga (ver figura 1). También cabe destacar que en cada extremo de los prototipos se colocara un medidor para poder ver la cantidad de fluido (en este caso aire) que entra y el que sale, para así poder definir qué porcentaje es el que se pierde en las fugas detectadas.

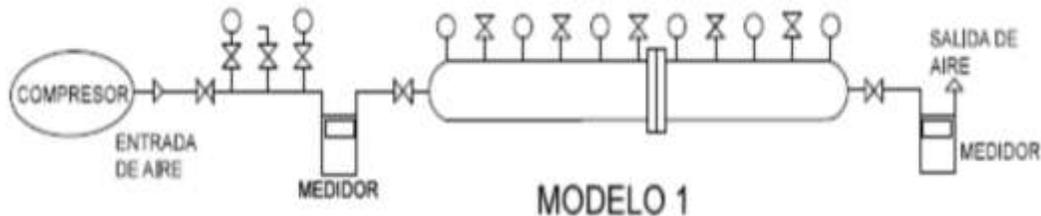


Figura 1. Modelo

OBJETIVOS DE LA TESIS

- Análisis de métodos existentes para determinar fugas y poderlas clasificar.
- Mediante un estudio a través de dos prototipos de tuberías a presión en laboratorio empleando el método de caída de presión para poder ubicar el tramo donde se encuentre la fuga.
- Utilizar este método para emplearlo en campo y así poder determinar las posibles fugas.

Las condiciones en la que se realizara en trabajo serán las siguientes:

Gas Perfecto. Se define como una sustancia que satisface la ley del gas perfecto.

$$v_x = RT \dots \dots \dots 1$$

Y que tiene calores específicos constantes; donde

p = presión absoluta

v_x = volumen específico

R = constante de gas

T = temperatura absoluta

El gas perfecto debe distinguirse cuidadosamente de un flujo ideal, ya que el flujo ideal carece de fricción y es incompresible. El gas perfecto tiene viscosidad y puede, por lo tanto, desarrollar esfuerzos cortantes y es compresible de acuerdo a la ecuación 1.

Que se puede escribir como $p = \rho RT \dots \dots \dots 2$

La ley del gas perfecto comprende las leyes de Charles y de Boyle. La ley de Charles expresa que, para presión constante, el volumen de una masa dada de gas varía según su temperatura absoluta. La ley de Boyle ley isotérmica expresa que, para temperatura constante, la densidad varía directamente según varía su presión absoluta.

Flujo no Uniforme. Al existir una fuga en la longitud del tubo el vector velocidad tiene una variación en cualquier punto $\left(\frac{\partial v}{\partial s}\right) \neq 0$.

Flujo no Permanente. Se dice que es un flujo no permanente ya que existe un cambio de presión que a su vez hace que exista un cambio de velocidad, en el punto de entrada con el punto de salida $\left(\frac{\partial v}{\partial t}\right) \neq 0$.

Flujo Bidimensional. Es un flujo en el que el vector velocidad sólo depende de dos variables espaciales. En este tipo de flujo se supone que todas las partículas fluyen sobre planos paralelos a lo largo de trayectorias que resultan idénticas si se comparan los planos entre si, no existiendo, por tanto, cambio alguno en dirección perpendicular a los planos.

Flujo Isotérmico. O también llamado flujo a temperatura constante que se considera que ocurre muy a menudo, en parte por conveniencia, o más bien, porque se acerca más a la realidad de lo que sucede en las tuberías. En el caso extremo de flujo es en tuberías de gas en tuberías aisladas esté muy cerca del flujo isotérmico para presiones muy altas.

¿QUÉ ES EL GAS NATURAL?

El Gas Natural es una de las varias e importantes fuentes de energía no renovables formada por una mezcla de gases ligeros que se encuentra en yacimientos de petróleo, disuelto o asociado con el petróleo o en depósitos de carbón. Aunque su composición varía en función del yacimiento del que se saca, está compuesto principalmente por metano en cantidades que comúnmente pueden superar el 90 ó 95%. Sus otros componentes son el etano, el propano, el butano y otras fracciones más pesadas como el pentano, el hexano y el heptano. La denominación de estos hidrocarburos es:

FORMULACIÓN QUÍMICA

Metano (C H4)	Octano (C8 H18)
Etano (C2 H6)	Etileno (C2 H4)
Propano (C3 H8)	Propileno (C3 H6)
Butano (C4 H10)	Butileno (C4 H8)
Pentano (C5 H12)	Benceno (C6 H6)
Hexano (C6 H14)	Tolueno (C7 H8)
Heptano (C7 H16)	

Generalmente contiene 1% de impurezas como son el nitrógeno, bióxido de carbono, helio, oxígeno, vapor de agua y otras que son también de combustión limpia. [Cáceres, 2002.]

ANTECEDENTES

El principal objetivo de mejorar métodos para la detección de fugas es maximizar la relación de costos/beneficio del producto y al mismo tiempo evitar los posibles daños a la naturaleza con este tipo de problemas.

Como se sabe el gas natural es un producto no renovable y un recurso natural con gran potencial para dañar al medio ambiente y al que lo rodea, por eso es necesario aplicar nuestros

conocimientos y ética para evitar daños irreversibles tanto en la naturaleza como en la humanidad. Para realizar la inspección de sus instalaciones, debe disponer de los recursos siguientes: Recurso Humanos, Recursos Materiales, y los métodos para la detección de fugas son los que a continuación se presentan: Detección con indicadores de gas combustible, Detección sobre la superficie de suelo, Detección debajo de la superficie de suelo, Detección por inspección visual de la vegetación, Detección por burbujeo, Detección por ultrasonido, Detección por termo gráfica infrarroja terrestre ó aérea, Detección por medio de perros adiestrados, Comparación de volumen de entrada con el de salida, Análisis de la presión y/o la tasa del flujo dentro del conducto, Monitoreo de señales características generadas por fugas, Detección por cable, Detección por fibra óptica, Pigs de detección de fugas.

CONSTRUCCIÓN

La construcción del modelo se llevó de la siguiente manera:

1. Se cortó el tubo de 4" en dos partes, esto fue para la unión de las bridas en un extremo de cada tubo mediante una soldadura, con esto al unir las dos tuberías se puede calcular y así descartar la pérdida de presión por accesorios.
2. Se prosiguió a unir los tapones Cap en los dos extremos faltantes.
3. Como paso siguiente se colocaron los Coples a una distancia de 0.60 m, y un Cople en cada tapón Cap, con el fin de permitir la entrada de flujo y la salida del mismo.
4. Al tener la unión de las bridas y los tapones Cap en los dos tramos de tubería se prosiguió a la unión de estos, mediante tornillos, colocando en esta unión un empaque para evitar la posible pérdida de presión entre las dos bridas.
5. Al tener armado el tubo se prosiguió a pintar el mismo.
6. Teniendo el tubo listo se colocaron los Niples en cada Cople especificado según la figura 1, y en estos Niples se colocaron las Válvulas de Esfera.
7. En los Coples restantes se colocaron las Reducciones Bushing para poder unir a estas los Manómetros.
8. En los Coples de los extremos se colocó el Medidor de Gas Natural, que previamente se armó.
9. En el arreglo que se hizo en un medidor de Gas Natural se colocó una conexión de un compresor para poder empezar la calibración del modelo

DESARROLLO DE LOS PROTOTIPOS

Una vez armado el prototipo y verificado que la tubería se encuentre hermética se prosiguió a los ensayos que se realizaron bajo las siguientes condiciones:

1. Se presurizo la tubería a una presión de 0.5 kg/cm² ya que los medidores con los que se cuenta para este modelo son la presión máxima a la que pueden trabajar, y para evitar que estos sufran desperfectos se opto por manejar presiones de ese rango. Una vez presurizada se cerraron todas las válvulas para evitar que perdiera presión y se dejo que se estabilizara durante 5 minutos, esto fue porqué el compresor inyecta aire caliente y como menciona la Ley de Gay-Lussac que establece la relación entre la presión (P) y la temperatura (T) de un gas cuando el volumen (V) se mantiene constante, y dice textualmente:

“La presión del gas es directamente proporcional a su temperatura.”

Esto significa que:

- Si aumentamos la temperatura, aumentará la presión.
 - Si disminuimos la temperatura, disminuirá la presión
2. Una vez pasado los 5 minutos se tomaron las lecturas de los 6 manómetros que se encuentran en la tubería, y se le nombro a este proceso “Ensayos de forma Estática”.
 3. Teniendo las lecturas de los manómetros se procede a inyectar presión de nuevo con el compresor, pero en esta ocasión se abre las válvulas de entrada y salida 4 mm (ver figura 2), esto es porque se hace una simulación de un gasto que pasa a través de la tubería.

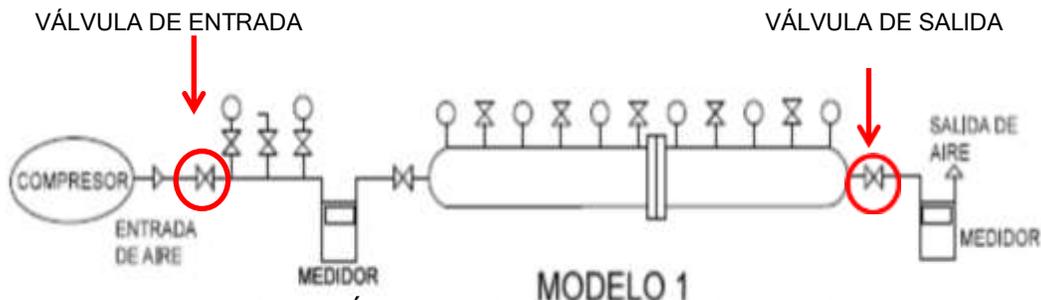


FIGURA 2. VÁLVULAS DE ENTRADA Y DE SALIDA

Esta forma de ensayo es considerada “Ensayos de forma Dinámica”, después de la abertura de las válvulas se dejó estabilizar la presión durante 2 minutos y medio, esto fue porque al tener flujo la presión bajó considerablemente. Pasando estos dos minutos y medio se tomaron las lecturas de los manómetros colocados en la tubería así como en los medidores se tomó el gasto de entrada y de salida en un periodo de 10 segundos cada uno.

Como paso siguiente se continuó con la simulación de las fugas, esta etapa es donde se abren las válvulas dentro de las tuberías, la forma que se llevó a cabo este paso fue que se abrió cada una de las válvulas 4 mm y se tomó la lectura de los manómetros y de en los medidores los datos de gasto de entrada y de salida, al tener estos valores se cerró la válvula y se dejó estabilizar por un periodo de 2 minutos y medio para poder pasar a la siguiente válvula, esto se realizó para las 6 válvulas que se encuentran dentro de la tubería (ver figura 3)

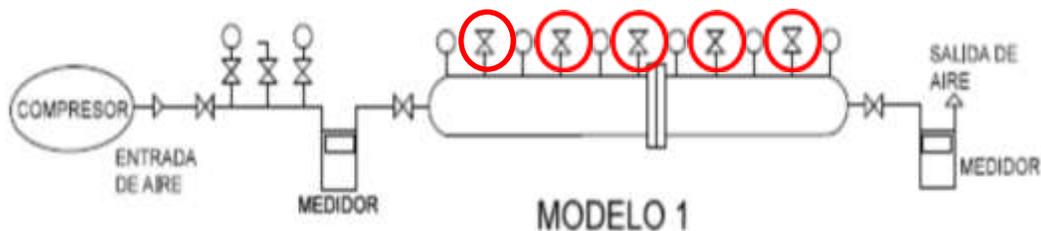


FIGURA 3. VÁLVULAS

En todos los ensayos se utilizó un termómetro para poder saber la temperatura de aire inyectado.

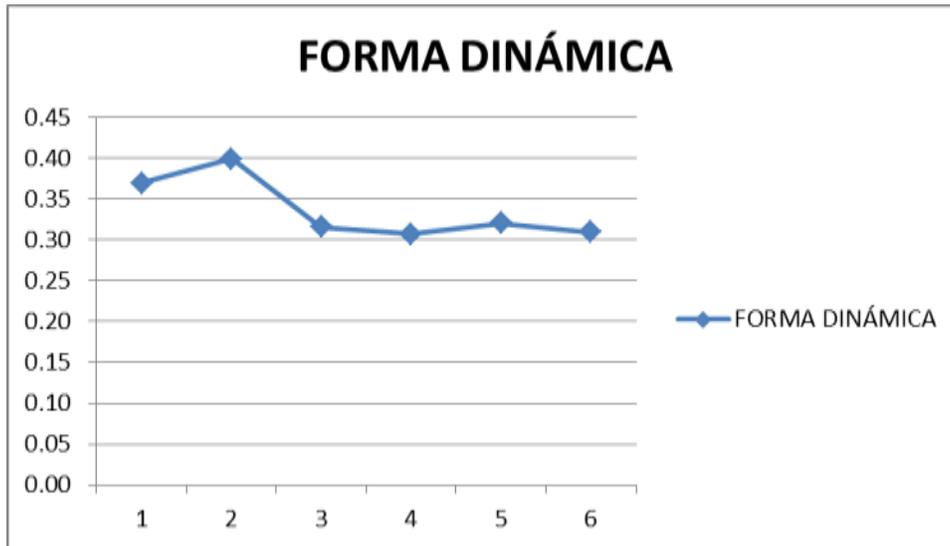
Para la interpretación de los resultados se prosiguió a lo siguiente:

Se tomaron las lecturas de todos los ensayo realizados, anotando el valor en su tabla correspondiente, después se obtuvo el valor promedio total de estos valores para poder realizar las gráficas.

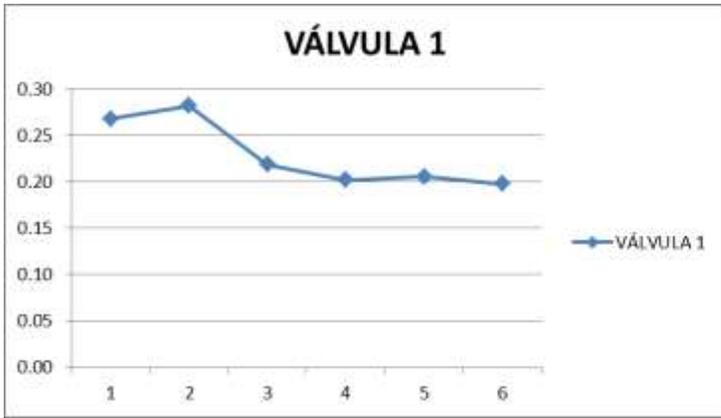
Se grafico los valores promedio totales de cada una de las tablas.

Teniendo los datos de las condiciones dinámicas y los datos de cada una de los manómetros se continuo con la división de cada valor promedio de los manómetros entre las condiciones dinámicas y estos resultados se multiplicaron por 100 para sacar el porcentaje correspondiente a cada perdida de presión, y así poder tener el % perdido en cada manómetro. Como se muestra en las tablas siguientes:

FORMA DINÁMICA																										
ENSAYO/ MANÓMETRO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL PROMEDIO
1	0.40	0.45	0.35	0.46	0.48	0.24	0.31	0.17	0.50	0.42	0.24	0.35	0.27	0.20	0.54	0.29	0.36	0.46	0.47	0.53	0.25	0.44	0.38	0.51	0.17	0.37
2	0.40	0.49	0.39	0.50	0.50	0.28	0.35	0.19	0.51	0.36	0.26	0.39	0.30	0.25	0.56	0.39	0.40	0.49	0.40	0.56	0.29	0.51	0.45	0.55	0.20	0.40
3	0.30	0.40	0.20	0.40	0.42	0.20	0.26	0.10	0.44	0.29	0.18	0.30	0.21	0.18	0.49	0.30	0.34	0.40	0.30	0.49	0.20	0.43	0.47	0.46	0.14	0.32
4	0.30	0.39	0.20	0.39	0.40	0.19	0.25	0.11	0.43	0.29	0.18	0.29	0.22	0.18	0.47	0.29	0.32	0.39	0.30	0.46	0.20	0.40	0.46	0.44	0.13	0.31
5	0.30	0.40	0.20	0.41	0.42	0.20	0.28	0.10	0.45	0.30	0.20	0.30	0.24	0.19	0.49	0.31	0.34	0.40	0.30	0.49	0.24	0.45	0.40	0.46	0.13	0.32
6	0.30	0.39	0.20	0.39	0.40	0.19	0.26	0.11	0.40	0.30	0.18	0.46	0.22	0.18	0.46	0.29	0.32	0.39	0.29	0.45	0.22	0.41	0.39	0.42	0.12	0.31

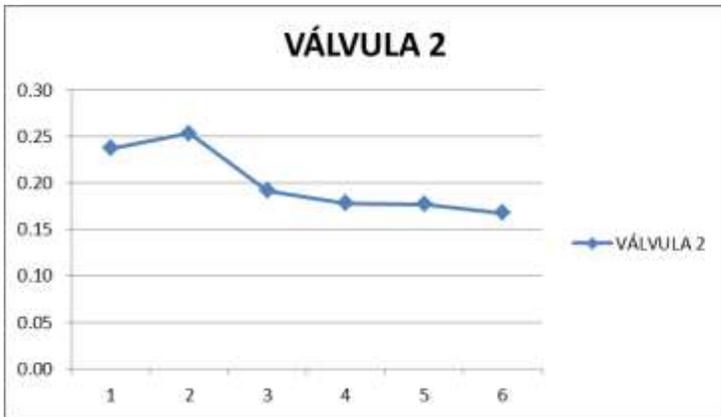


PRESIONES EN ABERTURA DE 4 MM DE LA VÁLVULA 1																											
ENSAYO/ MANÓMETRO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL PROMEDIO	PORCENTAJE
1	0.24	0.48	0.34	0.41	0.48	0.25	0.25	0.19	0.35	0.25	0.14	0.24	0.26	0.19	0.25	0.17	0.25	0.29	0.20	0.35	0.15	0.30	0.26	0.29	0.13	0.27	72.62
2	0.25	0.50	0.35	0.45	0.50	0.25	0.26	0.20	0.37	0.26	0.16	0.26	0.29	0.20	0.26	0.19	0.25	0.30	0.20	0.39	0.14	0.33	0.25	0.30	0.15	0.28	70.81
3	0.20	0.45	0.28	0.35	0.41	0.20	0.21	0.13	0.30	0.20	0.09	0.21	0.21	0.15	0.20	0.11	0.24	0.23	0.16	0.30	0.10	0.25	0.20	0.24	0.05	0.22	69.24
4	0.19	0.40	0.25	0.34	0.40	0.18	0.20	0.11	0.29	0.20	0.09	0.19	0.20	0.14	0.19	0.13	0.19	0.21	0.15	0.19	0.08	0.24	0.20	0.22	0.07	0.20	65.76
5	0.15	0.44	0.29	0.36	0.42	0.19	0.19	0.11	0.27	0.20	0.09	0.16	0.20	0.12	0.20	0.10	0.19	0.23	0.13	0.30	0.09	0.25	0.19	0.22	0.06	0.21	64.38
6	0.15	0.40	0.25	0.34	0.40	0.19	0.19	0.10	0.25	0.19	0.07	0.16	0.19	0.14	0.19	0.12	0.18	0.21	0.15	0.29	0.08	0.24	0.19	0.21	0.07	0.20	63.95



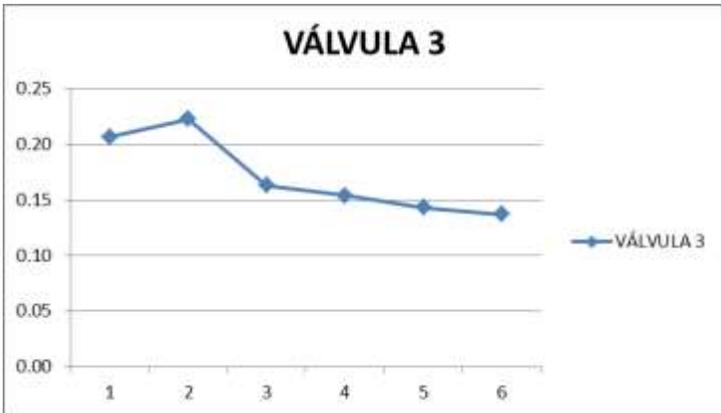
PRESIONES EN ABERTURA DE 4 MM DE LA VÁLVULA 2

ENSAYO/ MANÓMETRO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL PROMEDIO	PORCENTAJE
1	0.23	0.19	0.31	0.45	0.25	0.25	0.29	0.19	0.30	0.26	0.14	0.21	0.24	0.19	0.25	0.25	0.20	0.23	0.22	0.25	0.15	0.24	0.25	0.23	0.17	0.24	64.29
2	0.24	0.20	0.33	0.49	0.27	0.25	0.30	0.20	0.33	0.30	0.15	0.24	0.25	0.19	0.26	0.27	0.22	0.24	0.24	0.26	0.17	0.24	0.26	0.25	0.19	0.25	63.59
3	0.17	0.15	0.26	0.40	0.21	0.20	0.25	0.13	0.26	0.23	0.08	0.16	0.29	0.14	0.20	0.20	0.16	0.17	0.18	0.19	0.10	0.18	0.19	0.17	0.12	0.19	60.63
4	0.16	0.12	0.24	0.39	0.20	0.20	0.24	0.12	0.25	0.21	0.05	0.15	0.28	0.11	0.19	0.19	0.13	0.15	0.16	0.19	0.11	0.17	0.18	0.17	0.10	0.18	58.07
5	0.13	0.10	0.26	0.40	0.20	0.19	0.24	0.10	0.26	0.21	0.10	0.15	0.28	0.10	0.19	0.19	0.14	0.16	0.15	0.19	0.10	0.16	0.17	0.16	0.10	0.18	55.38
6	0.13	0.12	0.24	0.38	0.20	0.19	0.20	0.12	0.23	0.20	0.01	0.15	0.26	0.10	0.18	0.19	0.14	0.15	0.15	0.18	0.09	0.15	0.17	0.16	0.10	0.17	54.13



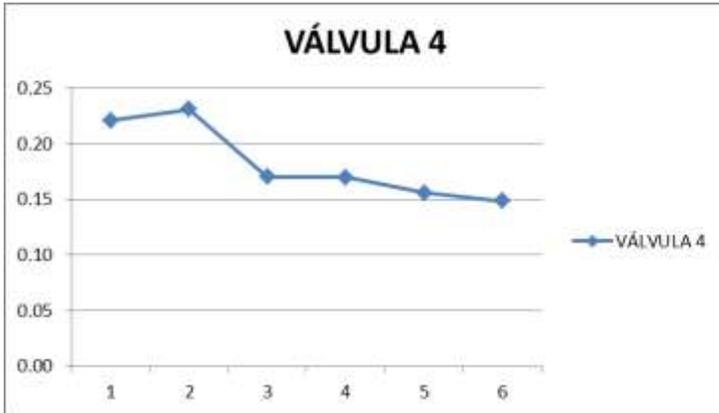
PRESIONES EN ABERTURA DE 4 MM DE LA VÁLVULA 3

ENSAYO/ MANÓMETRO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL PROMEDIO	PORCENTAJE
1	0.15	0.19	0.19	0.35	0.19	0.20	0.18	0.16	0.38	0.16	0.14	0.25	0.24	0.15	0.20	0.18	0.17	0.24	0.17	0.36	0.13	0.32	0.20	0.19	0.09	0.21	56.06
2	0.15	0.20	0.23	0.37	0.20	0.20	0.19	0.17	0.40	0.20	0.14	0.28	0.25	0.15	0.21	0.19	0.19	0.24	0.19	0.39	0.14	0.34	0.24	0.21	0.11	0.22	55.97
3	0.08	0.14	0.17	0.30	0.20	0.15	0.14	0.13	0.34	0.13	0.10	0.21	0.19	0.12	0.17	0.13	0.12	0.16	0.14	0.30	0.05	0.25	0.16	0.15	0.05	0.16	51.65
4	0.07	0.14	0.14	0.29	0.15	0.14	0.14	0.10	0.30	0.14	0.13	0.20	0.19	0.10	0.15	0.11	0.11	0.17	0.13	0.29	0.07	0.24	0.16	0.14	0.05	0.15	50.13
5	0.05	0.12	0.13	0.30	0.14	0.11	0.10	0.12	0.30	0.11	0.10	0.19	0.15	0.11	0.14	0.10	0.10	0.16	0.10	0.30	0.06	0.25	0.16	0.13	0.05	0.14	44.75
6	0.05	0.12	0.14	0.26	0.14	0.10	0.10	0.07	0.30	0.11	0.05	0.19	0.16	0.08	0.14	0.10	0.11	0.16	0.11	0.29	0.07	0.24	0.16	0.14	0.04	0.14	44.32



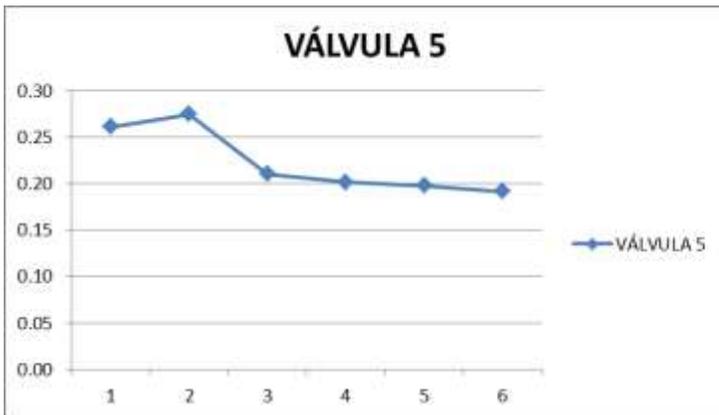
PRESIONES EN ABERTURA DE 4 MM DE LA VÁLVULA 4

ENSAYO/ MANÓMETRO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL PROMEDIO	PORCENTAJE
1	0.29	0.16	0.24	0.38	0.25	0.20	0.25	0.15	0.39	0.30	0.19	0.24	0.25	0.15	0.21	0.20	0.19	0.23	0.15	0.20	0.16	0.24	0.17	0.19	0.14	0.22	59.74
2	0.30	0.20	0.25	0.30	0.26	0.24	0.25	0.16	0.41	0.30	0.19	0.20	0.27	0.15	0.24	0.24	0.19	0.24	0.17	0.24	0.19	0.24	0.19	0.20	0.15	0.23	57.87
3	0.24	0.12	0.20	0.34	0.20	0.16	0.20	0.10	0.35	0.25	0.15	0.17	0.20	0.08	0.16	0.15	0.14	0.16	0.10	0.15	0.09	0.17	0.13	0.15	0.09	0.17	53.80
4	0.23	0.12	0.18	0.30	0.20	0.19	0.20	0.09	0.34	0.25	0.15	0.16	0.20	0.12	0.17	0.15	0.13	0.16	0.12	0.15	0.11	0.19	0.12	0.12	0.09	0.17	55.21
5	0.23	0.10	0.16	0.34	0.20	0.15	0.19	0.11	0.34	0.24	0.10	0.14	0.19	0.05	0.16	0.14	0.11	0.15	0.10	0.14	0.10	0.15	0.11	0.11	0.09	0.16	48.75
6	0.20	0.10	0.15	0.30	0.20	0.15	0.18	0.08	0.30	0.21	0.10	0.14	0.18	0.07	0.16	0.14	0.12	0.16	0.09	0.15	0.10	0.15	0.10	0.11	0.07	0.15	47.93



PRESIONES EN ABERTURA DE 4 MM DE LA VÁLVULA 5

ENSAYO/ MANÓMETRO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL PROMEDIO	PORCENTAJE
1	0.25	0.18	0.26	0.45	0.30	0.26	0.31	0.13	0.45	0.24	0.20	0.30	0.27	0.20	0.29	0.25	0.19	0.25	0.19	0.35	0.19	0.25	0.26	0.31	0.20	0.26	70.67
2	0.25	0.20	0.30	0.47	0.30	0.29	0.33	0.15	0.48	0.25	0.19	0.30	0.29	0.20	0.30	0.26	0.20	0.26	0.19	0.39	0.19	0.25	0.29	0.33	0.21	0.27	68.91
3	0.17	0.20	0.22	0.39	0.25	0.20	0.25	0.09	0.39	0.20	0.15	0.26	0.21	0.16	0.23	0.20	0.13	0.19	0.15	0.30	0.14	0.19	0.20	0.25	0.14	0.21	66.58
4	0.20	0.18	0.21	0.36	0.23	0.21	0.24	0.07	0.35	0.19	0.15	0.24	0.20	0.15	0.21	0.19	0.14	0.19	0.13	0.29	0.14	0.20	0.19	0.24	0.14	0.20	65.63
5	0.15	0.20	0.22	0.39	0.24	0.20	0.25	0.07	0.34	0.16	0.10	0.24	0.20	0.12	0.22	0.20	0.12	0.17	0.11	0.30	0.17	0.19	0.20	0.25	0.14	0.20	61.88
6	0.15	0.20	0.20	0.36	0.23	0.20	0.25	0.06	0.30	0.15	0.14	0.21	0.19	0.14	0.21	0.19	0.13	0.18	0.12	0.28	0.14	0.18	0.20	0.24	0.14	0.19	61.89



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cáceres Graziani. Luis, "El Gas Natural", Corporación Aceros Arequipa S.A., Perú, Noviembre 2002.
- Streeter Victor, "Mecánica de Fluidos 9ª edición". Editorial McGraw-Hill, México 2000.