

81



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO COMPARATIVO DE VÁLVULAS PARA
ESTUFAS DOMÉSTICAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

MOISÉS FABIÁN TRUJANO GUZMÁN

DIRECTOR DE TESIS:

DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ

294260



MÉXICO, D.F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mi madre, por heredarme su fuerza y tenacidad (†).

A mi padre, por obsequiarme el maduro consejo.

A mis hermanas, Gaby, Tan y Ivonne por su amor y cariño.

Al Dr. Mejias, por ayudarme a mantener mi esencia.

A Geo y su familia, por la confianza recibida.

A todos mis amigos, por los momentos vividos.

A la UNAM, por darme la oportunidad de acercarme al conocimiento.

A México, por tener la necesidad de mi desarrollo.

Un agradecimiento especial al Dr. Vicente Borja, al Dr. Marcelo López y al Dr. Saul Santillan por la paciencia y el apoyo a lo largo de este trabajo.

Resumen.

Una empresa en el año de 1997 que se dedica a fabricar y diseñar estufas domésticas a nivel nacional, solicitó al Centro de Diseño y Manufactura (C.D.M) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, resolver el problema que tiene en los quemadores superiores de la estufa doméstica que fabrican, debido a que el control que se tiene es deficiente y no regula correctamente el tamaño de la flama conforme el usuario gira la perilla de la válvula. El resultado que la empresa buscaba era un control innovador y eficaz, para abarcar un mercado más amplio de usuarios.

La solución que propuso el C.D.M. fue comparar dos válvulas que instala en las estufas de la empresa que solicitó el estudio, con cinco válvulas de diferentes marcas de estufas transnacionales (brasileñas). La comparación consistió en analizar la regulación del gas conforme el usuario abre o cierra la válvula. Esta decisión fue tomada, por el corto tiempo que se tenía para desarrollar el proyecto.

Para realizar las pruebas a cada de una de las siete válvulas se montó un banco de pruebas. La prueba consistía en inyectarle aire (por seguridad) a la entrada de la válvula a una presión de 11 pulgadas columna de agua (presión común a la salida de los tanques de gas L.P. con regulador de presión) y girarla a partir del gasto volumétrico mínimo (flama mínima) hacia el gasto volumétrico máximo (flama máxima). De cada válvula se fueron obteniendo datos de su gasto volumétrico y de la presión estática con respecto a los grados de giro de la válvula.

De los datos que se obtuvieron de las pruebas, se hicieron una serie de curvas tomando como referencia el plano cartesiano, donde el gasto volumétrico y la presión estática es el eje de las ordenadas y el ángulo de giro del vástago de la válvula es el eje de las abscisas. Ya que se tenía cada gráfica de las siete válvulas, se debía identificar cual es la mejor válvula en control. Entonces, se optó por realizar una serie de nuevas curvas del gasto volumétrico y de presión estática ajustadas, por medio del método numérico de los mínimos cuadrados.

Las dos curvas obtenidas tanto en gasto volumétrico como en presión estática se colocaron en una misma gráfica. La diferencia numérica sobre el eje de las ordenas se cuantificó de forma absoluta, para obtener un valor numérico promedio en cada una de las siete válvulas. Se determinó que la mejor válvula era la F (origen brasileño) por tener la menor diferencial tanto en gasto volumétrico como en presión estática y la peor era la G (origen nacional) por tener el mayor diferencial en gasto volumétrico como en presión estática.

En conclusión, la característica principal de funcionamiento que marcó en la válvula E y F (origen brasileño) un mejor control de inyección del gas entre la flama máxima y mínima fué, inyectar el gas por diferentes áreas, las cuales aumentan o disminuyen simultáneamente dependiendo si el usuario abre o cierra la válvula a diferencia del resto de las válvulas, que inyecta el gas por una sola área siendo brusca la estrangulación de éste.

Contenido:

	Pag.
Introducción.	
1. Antecedentes del gas L.P. y Estufa Doméstica.	1
1.1. Combustible gas L.P.	
1.2. Estufa doméstica.	
1.2.1. Descripción general de una estufa doméstica para gas L.P.	
1.2.2. Características del gas para ajustar adecuadamente los quemadores.	
1.2.3. Descripción y funcionamiento de los elementos del sistema de combustión en una estufa doméstica.	
2. Planteamiento del problema en el control de la flama de un quemador superior	15
2.1. Definición del problema en la estufa doméstica.	
2.2. Objetivos y alcances del proyecto.	
3. Información técnica.	18
3.1. Problemas en el control de válvulas a nivel industrial.	
3.2. Válvulas de control para estufas domésticas actuales.	
3.2.1. Análisis cualitativo.	
3.2.2. Principios de funcionamiento de las válvulas.	
4. Banco de pruebas para válvulas de estufas domésticas.	39
4.1. Finalidad y descripción del banco de pruebas.	
4.1.1. Funciones de los elementos del banco de pruebas.	
4.1.2. Descripción de la prueba.	
4.2. Recopilación de las lecturas de las siete válvulas .	
4.3. Estudio comparativo de las válvulas.	
5. Análisis de resultados.	53
5.1. Análisis de la mejor válvula.	
5.2. Comparación de funcionamiento entre las válvulas F y G.	
6. Conclusiones y trabajo futuro.	66
Bibliografía.	68

Apéndices:

- A. Tipos y aplicaciones de válvulas.
- B. Métodos de selección para válvulas comerciales.
- C. Despiece de cinco válvulas comerciales para estufa doméstica.
- D. Curvas características de gasto volumétrico y presión estática.
- E. Ecuaciones de 2do. grado y curvas de ajuste de gasto volumétrico y presión estática.

Introducción.

Actualmente los enseres domésticos disponibles en el mercado, son cada vez más ergonómicos, cubriendo de una mejor forma las necesidades del hombre. Por esta razón una empresa que se dedica a diseñar y a fabricar estufas de gas domésticas, solicitó una auditoria tecnológica, debido a que ha sido un producto de bajo nivel tecnológico. El fin de esto era tratar de impulsar una nueva tecnología para tener un gran impacto en el mercado en los próximos años, en un sector de la sociedad donde se tenga un poder económico de adquisición alto.

En esta auditoria se analizaron, el sistema envolvente (estructura), sistema de función primaria (combustión), sistema de función de soporte para los diferentes sistemas y sistema de control. De los estudios antes mencionados se le entregó un reporte a la empresa antes mencionada, con el fin de encontrar mejoras al producto en general.

A partir de este reporte, la empresa solicitó al Centro de Diseño y Manufactura (C.D.M.) de la Facultad de Ingeniería UNAM el diseño de un dispositivo de control de flama para un quemador. El control debe de inyectar el gas L.P. en forma lineal para que el usuario tenga el control exacto sobre la flama. Este nuevo dispositivo tenía que romper con el principio e funcionamiento mecánico de una válvula de control, tratando de combinar diferentes tecnologías como la electrónica y la mecánica haciéndose de forma mecatrónica.

Se comenzó la búsqueda de esta tecnología aplicada en estufas a nivel mundial, encontrándose algunas de estas aplicaciones. Debido a que no se contaba con la infraestructura económica para obtener un dispositivo de este tipo, se optó por analizar lo que se tenía al alcance como son las estufas que en ese momento se encontraban en el mercado, las cuales usan una válvula para el control mecánico de la flama.

La empresa proporcionó un par de válvulas que se estaban instalando en sus estufas, las cuales se analizarían junto con otras válvulas de otras marcas de estufas.

Esta tesis presenta el estudio realizado a siete válvulas, encontrando la mejor válvula que controla la flama al gusto del usuario y junto con esto se analizó el principio de funcionamiento de la válvula, para formar una base técnica para el desarrollo de nuevas tecnologías.

En el capítulo 1, se estudian las características del combustible usado por las estufas : el gas L.P. y el gas natural. Con ayuda de una estufa modelo que nos proporcionó la empresa, se estudió cada una de las partes que integran la estufa y la influencia que tiene cada elemento en generar y controlar la flama.

En el capítulo 2, se lleva a cabo un análisis de funcionamiento de las partes que hacen posible la combustión en la estufa y se observó que la válvula es el punto más importante para un control de flama certero. A partir de esto se fijan metas y objetivos. El objetivo principal es realizar un estudio de válvulas de diferentes marcas de estufas para hacer una comparación de cual de estas válvulas es la que mejor regula y controla la flama.

En el capítulo 3, se estudian las partes que integran y el principio de funcionamiento de cada una de las siete válvulas que se adquirieron, de las cuales dos son de origen nacional (B y G) y cinco son de origen brasileño (A, C, D, E, F).

En el capítulo 4, se describe el banco de pruebas con el cual se realizaron pruebas a las siete válvulas, midiendo el gasto volumétrico y la caída de presión estática contra el ángulo de giro de la válvula, desde el gasto volumétrico mínimo (flama mínima) hacia el gasto volumétrico máximo (flama máxima). El fluido que se usó fue aire.

De cada válvula se realizaron sobre un plano cartesiano, las curvas características de gasto volumétrico y de presión estática (eje de ordenadas) con respecto al ángulo de giro del vástago de la válvula (eje de abscisas). Debido a que se debía justificar de forma numérica cual de las siete válvulas era la mejor en el control de la inyección del gas, se procedió a un ajuste de las curvas características por medio del método de los mínimos cuadrados.

En el capítulo 5, se estudian a los valores obtenidos en las pruebas, analizando cada una de las curvas características. Estas nuevas curvas ajustadas se compararon con las curvas reales tanto del gasto volumétrico como de la presión estática, arrojando una diferencia en el eje de las ordenadas en cada una de las gráficas. Esas diferencias se sumaron en forma absoluta y se obtuvo un promedio en cada una de las válvulas. La válvula que obtuvo la menor diferencia numérica tanto en gasto volumétrico como en presión estática, fue la mejor en el control de inyección del gas.

Ahora, ya que se tiene la mejor válvula de las siete estudiadas, se justificó el control mecánico de la inyección del gas L.P., describiendo la distribución del flujo de la mejor válvula.

Capítulo 1.-Antecedentes del gas L.P. y Estufa Doméstica.

1.-Antecedentes del gas L.P. y Estufa Doméstica.

1.1.- Combustible gas licuado de petróleo.

Se debe señalar que actualmente existen diferentes fuentes para obtener calor, ya sea por medio de la combustión de un combustible, de la corriente eléctrica, por rayos solares, etc. En esta tesis nos enfocaremos a las estufas que emiten calor con ayuda de un combustible en especial el gas L.P. usando los tres principios de transferencia de calor que es por conducción, convección y radiación.

Se sabe que los tres elementos indispensables para realizar una combustión, o sea una oxidación son un combustible (gas licuado de petróleo), un comburente (aire) y un detonante (chispa o fuego) con los cuales al momento que se unen generan calor.

Ahora, si se habla a nivel de sistema, los elementos que intervienen para almacenar y controlar el flujo del gas licuado de petróleo (G.L.P.) dentro de una casa o establecimiento que usen una estufa doméstica son tres:

- Gas licuado de petróleo envasado
- Conexiones
- Estufa doméstica

Petróleo, su composición.

El petróleo se encuentra en el subsuelo, impregnado en formaciones geológicas a las que los profesionales llaman trampas, constituidas por una capa de marga arcilla u otro terreno impermeable de la cual no pueda escapar el petróleo hacia la superficie.

La capa de petróleo de un campo petrolífero no suele medir más de 30 m. de espesor pero puede extenderse en un óvalo de decenas de kilómetros y a profundidades teóricas hasta de 15000 m.

El petróleo asume los tres estados físicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso, según su composición y la temperatura y presión a que se encuentra, su color varía entre el ámbar y el negro, su densidad es menor que la del agua. En estado gaseoso es inodoro, incoloro e insípido.

El aceite que producen los pozos, es enviado hasta un centro de recolección llamado batería de separadores en donde se separa mecánicamente el aceite del gas y el agua, se miden y se envían a otros centros recolectores de mayor importancia y de ahí a centros de tratamiento y refinación.

El petróleo crudo es un compuesto de hidrocarburos, es decir una combinación de carbono e hidrógeno exclusivamente y que comprende desde el asfalto hasta el gas natural. Su separación en columnas de destilación se logra aprovechando las diferencias de la volatilidad que tienen unos y otros. El procedimiento utilizado, consiste en calentar el petróleo crudo a una temperatura en que los componentes ligeros se evaporen y a continuación se condensan los hidrocarburos evaporados.

La condensación se efectúa a diferentes temperaturas: los hidrocarburos más volátiles se condensan a menor temperatura que los menos volátiles. De esta manera, se obtienen distintos condensados cuyas propiedades corresponden a los productos comerciales que conocemos como son el gas licuado de petróleo, gasolina, queroseno, diesel, aceite, lubricantes, etc.

De los yacimientos constituidos por gases, éstos se extraen por los mismos métodos convencionales empleados en la extracción del petróleo crudo y son tratados en plantas de absorción, donde se separan los hidrocarburos que forman el gas natural. El gas licuado de petróleo y algunos otros como la gasolina ligera. Este tipo de yacimientos es la fuente principal de producción tanto el gas natural como del gas L.P.

Hidrocarburos: carbono, hidrógeno.

Los hidrocarburos son cuerpos compuestos de carbono e hidrógeno exclusivamente. El hidrógeno es un gas incoloro, inodoro e insípido, muy difícilmente licuable. Es la sustancia más ligera que se conoce. Se encuentra muy poco en la naturaleza en estado de libertad. Lo expulsan algunos volcanes y pozos petroleros, si bien mezclados con otros gases.

El carbono es un elemento no metálico, que se encuentra en la naturaleza en combinación con todas las sustancias vegetales y animales (materia orgánica) y con muchos minerales.

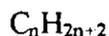
Los porcentajes de carbono e hidrógeno que forman cada compuesto tienen importancia decisiva en el comportamiento de cada hidrocarburo, sus propiedades varían a medida que cada compuesto tiene mayor número de carbonos.

El átomo del carbono se representa por un núcleo central, rodeado de cuatro valencias, susceptibles a retener cuatro átomos de hidrógeno, por lo que se dice carbono tetravalente.

Por la combinación entre sí de los átomos, de carbono y por la fijación de los átomos de hidrógeno sobre las valencias, se forman un gran número de hidrocarburos.

El primero, es el formado por un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno CH_4 y recibe el nombre de metano. El segundo, está formado por la combinación de dos de carbono y seis de hidrógeno C_2H_6 se le conoce como etano. El tercero, se obtiene por la combinación de los tres de carbono y ocho de hidrógeno C_3H_8 se llama propano. El cuarto, se obtiene con cuatro átomos de carbono y diez de hidrógeno conocido como butano. Después le sigue el pentano, hexano, heptano y el octano.

De manera general corresponde a la fórmula de los hidrocarburos saturados:



Los cuatro primeros hidrocarburos se encuentran a la temperatura ordinaria y a presión atmosférica, en estado gaseoso. Los dos primeros, metano y etano forman lo que se conoce como gas natural, el propano y butano, reciben el nombre de gas licuado de petróleo (gas L.P.). Cuando el número de átomos de carbono son más de cuatro, se encuentran en estado líquido a las condiciones ordinarias de presión y temperatura, formando los compuestos que conocemos con el nombre de gasolina, petróleo diáfano, diesel, etc.

Viene después los que son más viscosos que los anteriores, los aceites lubricantes hasta llegar a ser sólido como las parafinas, grasas, y finalmente los asfaltos.

A continuación se anexa, en la tabla 1.1 las características físicas, químicas y térmicas de los hidrocarburos principales, contenidos en el gas L.P. y natural y de otros componentes asociados.

	Metano	Etano	Propano	Iso-Butano	N Butano	Iso Pentano	N Pentano	Oxido de Carbono	Anhidrido de Carbónico	Nitrógeno	Oxígeno	Aire	Acido Sulfúrico	Agua	
Formula Mol.	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₅ H ₁₂	CO	CO ₂	N ₂	O ₂		SH ₂	H ₂ O	
Peso molecular	16.042	30.068	44.094	58.12	58.12	72.146	72.146	28.016	44.01	28.016	32	28.966	34.076	18.016	
Punto de fusión (760 mm Hg)	F	-296.5	-297.9	-305.8	-225.3	-217	255.8	201.5	-337		-345.6	-361.1		-121.9	32
	C	-182.5	-183.3	-187.7	-159.5	-138.3	-150.9	-127.7	-205		-209.8	-218.4		-85.5	0
Punto de Ebullición (760 mm Hg)	F	258.7	-127.5	-43.7	-110.9	31.1	82.1	96.9	-312.7	-109.3	320.4	-297.4	-317.7	-76.5	212
	C	-161.5	-88.6	-42.1	-117	-0.5	27.9	-36.1	-191.5	-78.5	195.8	183	194.3	-60.3	100
Temperatura Crítica	F	116.5	90.1	206.3	2750	305.6	370	385.9	-218.2	88	232.8	-181.8	-221.3	212.7	705.4
	C	-82.5	32.3	96.8	135	152	187.8	196.6	-139	-31.1	-147.1	-118.8	-140.7	100.4	373.1
Presión Crítica	Atmosferas	45.8	48.2	42	36	37.5	32.9	33.3	35	73	33.5	49.7	37.2	88.9	218.2
	PSI Abs	673	708	617	529	551	483	480	514	1.073	492	730	547	1.306	3.206
Densidad Crítica	0.162	0.202	0.225	0.223	0.226	0.234	0.231	**	0.458	0.31	0.428	0.428	**	0.318	
Volumen Crítica(m ³ /Kg mol)	0.098	0.146	0.198	0.26	0.252	0.305	0.307	**	0.954	0.89	0.735	0.922	**	0.56	
Densidad de Líquido	Peso Específico (60/60)	0.3	0.374	0.507	0.563	0.584	0.624	0.631	0.801	1.56 sal	0.808	1.14	0.856	0.79	1
	API	340	247	1472	119.8	110.6	95	92.7	**	**	**	**	**	47.6	10
	Kg/L1 (65 C)	0.298	0.373	0.505	0.56	0.582	0.622	0.628	**	**	**	**	**	0.785	0.996
	Lts/Kmol (15 C)	53.2	80.3	86.9	103.2	99.4	115.5	114.2	**	**	**	**	**	43	17.9
Densidad de Vapor (760 mm Hg 15 C) Peso específico	Aire = 1	0.554	1.038	1.522	2.008	2.008	2.491	2.491	0.967	1.519	0.967	1.105	1	1.176	0.622
	Kg/ft	0.68	1.27	1.87	2.46	2.46	3.05	3.05	1.18	1.86	1.18	1.35	1.23	1.44	0.76
	Lts Vapor / Lts Líquido	442	293	271	228	237	205	207	**	**	**	**	**	548	1.312
Factor de Desviación de la Ley de Boyle	50 F	1.002	1.006	1.016	1.03	1.032	1.045	1.048	1.004	1.0058	1.0003	1.00075	1.00039	1.0111	1.0095
	100 F	1.0015	1.007	1.013	1.025	1.027	1.04	1.043	**	1.0047	1.00012	1.00052	1.0002	**	**
Ltes. Explosivos % en el aire	Interior	5	3.22	2.37	1.8	1.86	1.32	1.4	12.5	**	**	**	**	4.3	**
	Superior	15	12.42	9.5	8.44	8.44	**	7.8	74.2	**	**	**	**	45.5	**
M3 de Aire Para Quemar 1m ³ Gas	9.53	16.67	23.82	30.97	30.97	38.11	38.11	2.38	**	**	**	**	7.15	**	
Calor de Fusión(Kcal/Kg)	14	226	19.1	18.7	19.1	17	27.9	8	54.5	6.2	3.3	**	16.6	79.4	
Calor de Vapor(Kcal/Kg)	122	116.5	102	85.3	92	81	85.2	50.6	**	47.7	51.1	51.1	130.8	540	
Calor Específico	Kcal/Kg														
	Cp Vapor/ Cv Vapor														
	N= Cp/Cv	1.308	1.193	1.133	1.97	1.084	1.076	1.074	1.404		1.304	1.404	1.401	1.41	1.335
Cp Líquido			269	296	304									1	
Presión de Vapor	a 100 F	**	708	190	72.2	51.6	20.4	15.6	**	**	**	**	**	554.6	0.948
	Pto. De Anilina F	**	**	**	225.7	181.2	168.3	150.3	**	**	**	**	**	**	**

Tabla 1.1. Características físicas y químicas de hidrocarburos

1.2-Estufa doméstica.

1.2.1.-Descripción general de una estufa doméstica para gas L.P.

La estufa doméstica que se describe en este apartado es el modelo de 30 pulgadas y para ser instalada requiere de instalación eléctrica y de plomería para gas L.P., como se ilustra en la figura 1.1.

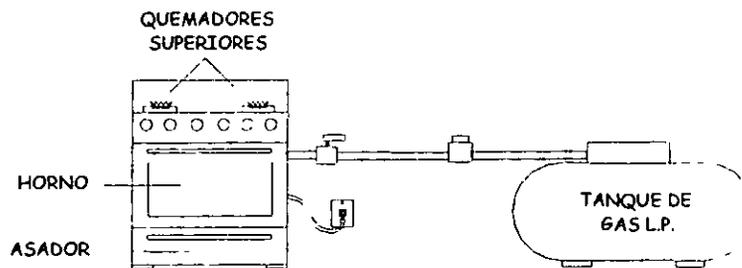


Figura 1.1 .- Estufa doméstica y sus conexiones

Los elementos con los que se cuentan para cocinar son 4 quemadores superiores, un comal, un asador y un horno, este último consta de luz interna.

Para el manejo y control de estos elementos, el usuario regula la flama de los quemadores superiores por medio de perillas que controlan las válvulas. Estas válvulas tienen tres posiciones: cerrada, de flama máxima (siendo en esta posición donde emite una chispa momentanea para el encendido electrónico) y la flama mínima (teniendo una pequeña regulación en esta última).

Para el encendido del horno y del asador se tiene un interruptor que genera una chispa, pero en caso de que no encienda la flama, inmediatamente se enciende una alarma auditiva para avisar al usuario de la falla. Para la regulación de la temperatura del horno, éste consta de un termostato que se encarga de regular el paso del gas en la válvula y así mantener la temperatura que el usuario requiera. Para el desahogo de los gases de combustión del horno la estufa tiene una pequeña chimenea que desemboca en la parte superior donde están los quemadores superiores y para mantener la mezcla de aire-gas adecuado se tiene unas ranuras en la parte inferior de la estufa. Para retener la disipación de calor del horno hacia el exterior, la estufa consta de una colchoneta de fibra de vidrio que la envuelve. Para la limpieza del horno, se cuenta con un recubrimiento vitreo ayudando a la autolimpieza,

permitiendo que la grasa se carbonice y este carbón se retire con un trapo húmedo fácilmente.

En el caso de que la estufa no trabaje con gas L.P. si no con gas natural, ésta viene preparada con un juego de espreas de un mayor diámetro para poder trabajar. Las espreas son colocadas a la salida de las válvulas y en el tema 1.2.2 se hablará más específicamente de su función. Las especificaciones de espreas para estufas domésticas se presentan en las Tablas 1.2. y 1.3.

QUEMADOR	NÚMERO DE ESPREA	DIÁMETRO (Pulgadas)	CAPACIDAD TÉRMICA (BTU/h)
Superior Frontal	69	0.0292	6635
Superior Posterior	69	0.0292	6635
Horno	58	0.042	13744
5to Quemador	68	0.031	7582
Comal	73	0.024	4739

Tabla 1.2.- Especificaciones técnicas de espreas para gas L.P
(11 pulgadas columna de agua).

QUEMADOR	NÚMERO DE ESPREA	DIÁMETRO (pulgadas)	CAPACIDAD TÉRMICA (BTU/h)
Superior Frontal	58	0.042	6635
Superior Posterior	58	0.042	6635
Horno	52	0.0635	15166
5to Quemador	56	0.0466	8152
Comal	65	0.035	4550

Tabla 1.3.- Especificaciones técnicas de espreas para gas natural
(7 pulgadas columna de agua).

Aquí debe señalarse que para regular la mezcla primaria de gas-aire se debe ajustar el regulador de aire que está ubicado en el venturi de cada quemador.

1.2.2.-Características del gas para ajustar adecuadamente los quemadores.

Para ajustar adecuadamente la flama de los quemadores, es indispensable tomar en cuenta las características o propiedades del gas que vayan a consumir esos aparatos, especialmente la densidad relativa del vapor de ese gas, sus límites de inflamabilidad, la rapidez con que la flama se propaga, su contenido calorífico y la cantidad de aire que se quiere para una combustión completa y eficiente.

En los puntos que trataremos a continuación nos referimos exclusivamente a las estufas de tipo doméstico, pero como todos los aparatos que funcionan con gas dependen de una combustión eficiente para ser útiles y económicos, esta información puede ser tomada en cuenta para la mayoría de los aparatos.

En primer término debemos de tomar en cuenta el peso o densidad relativa que tenga el vapor de gas que estemos manejando, en relación con el peso del aire es muy importante saber cuando hay un escape de gas. La densidad relativa del vapor de propano es 1.522 y la del butano 2.006 esas densidades relativas son las que resultan de comparar con el aire, siendo su densidad relativa de 1.0. Los combustibles antes mencionados son más pesados que el aire y por serlo, tenderán a descender al nivel más bajo cuando se les permita salir a la atmósfera, a menos que haya una corriente de aire capaz de diluirlos reduciendo su peso, en relación con el aire.

Otra característica muy importante la constituyen los límites de inflamabilidad del gas. Tratándose del gas licuado de petróleo esos límites de inflamabilidad abarcan un campo muy reducido, y en algunas circunstancias esto es muy conveniente; pero al mismo tiempo como es muy reducido, debe recordarse que no se necesita mucho para hacer una mezcla inflamable. En el propano el límite más bajo de inflamabilidad se encuentra al estar presente en una mezcla gas-aire un 2.4 % de gas; y su límite más alto es 9.5 %. Lo anterior significa que si la mezcla gas-aire no cae dentro de este rango no podrá arder. Tratándose de butano ambos límites son ligeramente más bajos. Debido a esta estrechez de límites cualquier cambio en la cantidad de gas o aire repercute en la eficiencia de la mayoría de los quemadores.

La velocidad con la que la flama se propaga es bastante alta en comparación con la que se presenta en muchos combustibles. Esa velocidad de propagación origina las flamas muy reducidas en los agujeros del quemador y en ocasiones es la responsable del flamazo hacia atrás, sobre todo en quemadores y en guías de piloto. Es conveniente recordar que el gas natural tiene otras características y por lo tanto cualquier quemador diseñado originalmente para gas natural es fácilmente identificable, porque el diámetro de los agujeros en los quemadores es más grande que el que tienen los que originalmente se utilizan para gas L.P. Por eso en ocasiones no basta con reducir el diámetro de la espere para que un quemador originalmente diseñado para gas natural opere eficientemente con gas L.P.

El diámetro de los agujeros del quemador tienen como efecto aumentar la velocidad de la mezcla de aire-gas, haciendo que esa velocidad sea mayor que la que tiene la propia flama.

La velocidad de la flama puede incrementarse, aumentando la cantidad de aire en la mezcla de gas-aire, de manera que cuando se encuentren casos de flamazo de retroceso es posible

corregirlos reduciendo la cantidad de aire primario, si es que la flama del quemador no es muy reducida. Para solucionar tal problema se reduce el aire, del regulador de aire del quemador.

Otra razón por la que los agujeros de los quemadores diseñados para gas natural son de diámetro mayor que los quemadores para gas licuado, es el diferente contenido calorífico que tienen ambos gases. El gas natural tiene un contenido calorífico de 8,460 calorías por metro cúbico (951 BTU/ft³). En cambio el valor calorífico del gas L.P. es dos veces y media más, es decir 22,244 Cal/m³ (2500 BTU/ft³).

Es importante recordar que para una combustión completa del propano se necesitan 24 volúmenes de aire para un volumen determinado de gas; tratándose de butano puro se necesita 31 volúmenes de aire por un volumen de gas y para el gas natural solo son 10 volúmenes de aire por un volumen de gas.

Es interesante tener presente que el aire atmosférico no es exclusivamente oxígeno, ya que solo es un 21 %, el nitrógeno un 78 % y el 1 % restante corresponde a otros gases que no toman parte en el proceso de la combustión, como el nitrógeno.

En los quemadores, la eficiencia de la mezcla se obtiene cuando se provee el gas con aire en dos pasos. El primer paso es al introducir el aire al quemador a través del mezclador (regulador); esa mezcla se lleva a cabo dentro del mismo quemador, para lo cual se requiere que el diseño de tal artefacto sea el adecuado para que la mezcla sea eficiente. Al aire así provisto al gas se le llama *aire primario*. Generalmente el aire primario representa aproximadamente la mitad del aire que requerirá el gas para una combustión completa y eficiente.

El segundo paso es la mezcla de gas-aire que sale por los agujeros del quemador, proporcionando más aire conforme va saliendo por dichos agujeros, tomándose del ambiente circulante completando así la cantidad de aire requerido para la total combustión. El aire que se provee en esa segunda mezcla se le llama *aire secundario*.

La corriente de gas que se dirige desde el orificio de la esprea hacia el interior del quemador, tiene una determinada rapidez. Conforme mayor sea la velocidad con que esa corriente entra al quemador creará un vacío mayor en la entrada del tubo mezclador o venturi, y el aire será absorbido hacia dentro del mismo, mezclándose con el gas que está fluyendo.

Si la velocidad no es suficientemente alta inmediatamente se notará en el color de la flama del quemador, ya que se pone amarillenta y por lo tanto no se tiene una combustión eficiente por la poca absorción de aire.

Otro punto importante será la presión del gas al salir por la esprea ya que si es menor que la necesaria, la flama que se producirá en el quemador será floja, debido a la escasez de aire primario.

El orificio tiene que hacerse exactamente en el centro de la esprea, ya que sino queda alineado con el centro del tubo del quemador, la corriente del gas se dirigirá hacia uno de los lados del quemador, originando esto que no haya una mezcla ni una entrada de aire adecuadas. Esto causa a veces el efecto de que en uno de los lados de la cabeza del quemador se produzca una flama brillante y firme, mientras que en otro lado se está produciendo una flama floja y tambaleante.

Además, el diámetro del orificio de la esprea debe ser exactamente proporcional al conjunto de área de los agujeros en la cabeza del quemador, ya que si no es así, entonces no hay proporción entre el gas a utilizarse eficientemente y el gas que se está proporcionando al quemador. Además de eso hay una descompensación entre la proporción de gas que se está inyectando y el aire que se está proporcionando hacia el quemador.

Es indispensable también tener muy presente la importancia de que la esprea esté a la distancia adecuada del tubo mezclador del quemador. Si esta distancia es demasiado corta, habrá una restricción entre la esprea y el tubo, y la corriente de gas puede pasar a través del tubo mezclador sin distribuirse para llenarlo y causar así el vacío. En cambio si es demasiado larga la distancia, la corriente de gas puede esparcirse antes de entrar al mezclador y originar así un flamazo fuera del mezclador, por no llegar a entrar a él o por permitir que algunas cantidades de gas no se introduzcan en el quemador.

Otra circunstancia que afecta a la entrada del aire e inclusive la apropiada mezcla de aire con el gas, es el diseño del quemador y las dimensiones de los ductos del mismo. Si el interior del quemador presenta superficies muy ásperas, o si tiene obstrucciones como las que dejan los sobrantes de fundición u otros materiales, todas esas obstrucciones harán que la mezcla de aire-gas no tenga una trayectoria adecuada y por lo tanto no se realice la mezcla en forma adecuada, e inclusive se podría impedir la entrada de aire suficiente.

Por otra parte se trata lo relativo al cálculo de las tuberías de servicio, que alimenta a cada uno de los aparatos conectados en el sistema. Es decir, considerando que el tanque de gas sea de la capacidad adecuada, que el regulador de presión sea también el apropiado tanto por lo que hace a la presión de salida a que haya sido ajustado, como por cuanto al volumen que es capaz de dejar pasar a esa presión, es muy importante que la presión adecuada de gas se mantenga en toda la línea de abastecimiento a los aparatos, hasta llegar a estos mismos. Todos sabemos que un tramo excesivo de tubería de diámetro reducido entre el regulador y el aparato pueden proporcionar gas suficiente para operar parte de los quemadores; pero cuando todos los quemadores estén operando, la presión puede bajar hasta tal punto que solo se obtenga no solo una combustión pobre, sino inclusive llegue a apagarse alguno de los quemadores con riesgos.

Generalmente se dice que una esprea es una pequeña pieza de metal que tiene un agujero para medir y dirigir la corriente del gas hacia el tubo mezclador del quemador. El agujero es el pequeño orificio a través del cual el gas fluye, y es muy importante para el cálculo de la cantidad de gas que se admite en el quemador. La forma exterior de la esprea es de muy poca importancia, por lo menos por lo que concierne al flujo de gas, de manera que aún cuando exista una variedad muy grande de tipos de espreas, debe recordarse que la cantidad de gas que pasará por cada una de ellas se afecta por las siguientes circunstancias:

1. Presión del gas
2. Diámetro del orificio
3. Longitud del orificio
4. Acabado del interior del orificio
5. Ángulo de acercamiento al orificio

Cuando la entrada de gas a un quemador se reduce, la cantidad de aire existente en el producto de la combustión aumenta rápidamente. Por el contrario cuando se aumenta la entrada de gas no solo se tiene desventajas, si no que además se crea un peligro, porque puede llegarse a tener combustión incompleta, lo que producirá monóxido de carbono.

1.2.3.-Descripción y funcionamiento de los elementos del sistema de combustión en estufa doméstica.

Se describe el funcionamiento de un viejo sistema de combustión que lo integran la válvula, el venturi y el quemador, conforme el gas L.P. circula a través de él. Comparando este diseño viejo con el actual, el único cambio que existe es que la válvula no contiene la esprea y el venturi o regulador se ubican abajo del quemador.

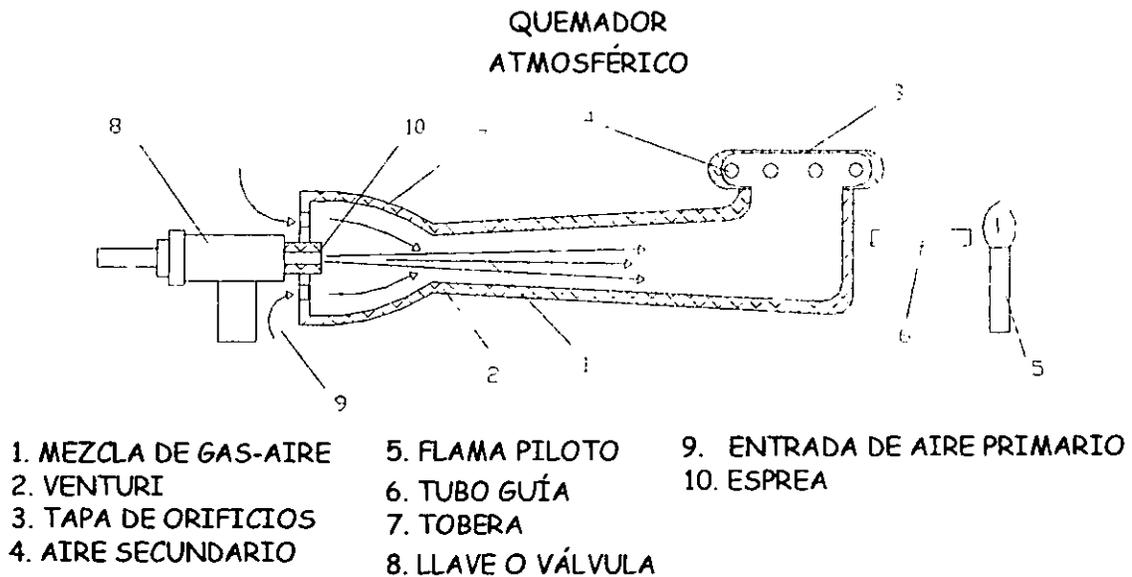


Figura 1.2 .- Viejo diseño de un quemador de estufa doméstica

A continuación se describe el funcionamiento de este viejo sistema de combustión:

1. Al girar la perilla se abre la válvula. El gas pasa por la esprea y con la presión que lleva se introduce en el interior del venturi, al hacer esto, absorbe (arrastra) una cantidad de aire a través de los agujeros de la parte anterior de la tobera por generar un vacío; a esa cantidad de aire se le denomina aire primario porque es la primera cantidad de aire del que se necesita para la combustión.
2. Ya mezclado el gas con una determinada cantidad de aire, el flujo sigue penetrando al venturi, por la forma de éste, la mezcla adquiere cierta velocidad que obligará a que ella busque una salida, que será a través de los orificios de la parte superior de la cabeza del quemador. Si previamente se ha acercado una flama de cerillo frente a los orificios, la mezcla de aire-gas incendiará, y al hacerlo utilizará una segunda cantidad de aire del que se encuentra en el ambiente cerca de esos orificios, a esta cantidad de aire se le denomina aire secundario.

3. Al igual que la mezcla sale por los orificios de la cabeza del quemador, también saldrá por otro orificio lateral de la misma cabeza. Al salir por este orificio, el gas que es más pesado que el aire, penetrará por el *tubo guía* cuya boca está precisamente al frente de ese orificio, y por su propio peso, por gravedad, escurrirá por el interior del tubo guía que debe de encontrarse ligeramente inclinado hacia la flama del piloto. Al hacer contacto el gas con esa flama se originará un pequeño flamazo o explosión. Al explotar esa pequeña cantidad de aire-gas, el flamazo de retroceso hará que se incendie el gas que ya se encuentra saliendo por los orificios superiores, completando así el encendido del quemador.

La carburación de la mezcla aire-gas depende de un equilibrio adecuado de esa mezcla, lo que logra dejando pasar la cantidad adecuada de aire en relación con la cantidad de gas que la esprea permite pasar. Para ello debe de ajustarse la tapa de la tobera que tiene unos agujeros coincidentes con la base de la misma tobera; al hacer coincidir exactamente los agujeros se permitirá un paso de la mayor cantidad de aire. Si esta cantidad de aire fuera excesiva, se observará que al salir por los orificios las flamas tienden a volarse o despegarse de los orificios; deberá entonces cerrarse paulatinamente la tapa de la tobera obstruyendo los agujeros de la entrada de aire hasta lograr que las flamas se estabilicen. Si la entrada de aire se reduce en exceso, las puntas de las flamas presentarán un color amarillo claro.

Cuando hay polvo o impurezas en el ambiente cercano del quemador, o cuando se enciende por primera vez un quemador, las flamas aún siendo estables y estando correctamente calibradas, desprende un color rojizo en forma de pequeñas chispas.

En la figura 1.3., se presenta el diseño actual de la distribución de los dispositivos necesarios para realizar la combustión en una estufa actual eliminando la cubierta, desde una vista superior de la estufa. Los dispositivos mostrados que integran a una estufa actual son:

- A.- Quemadores
- B.- Tubería de aluminio
- C.- Distribuidor
- D.- Válvulas
- E.- Estructura de la estufa

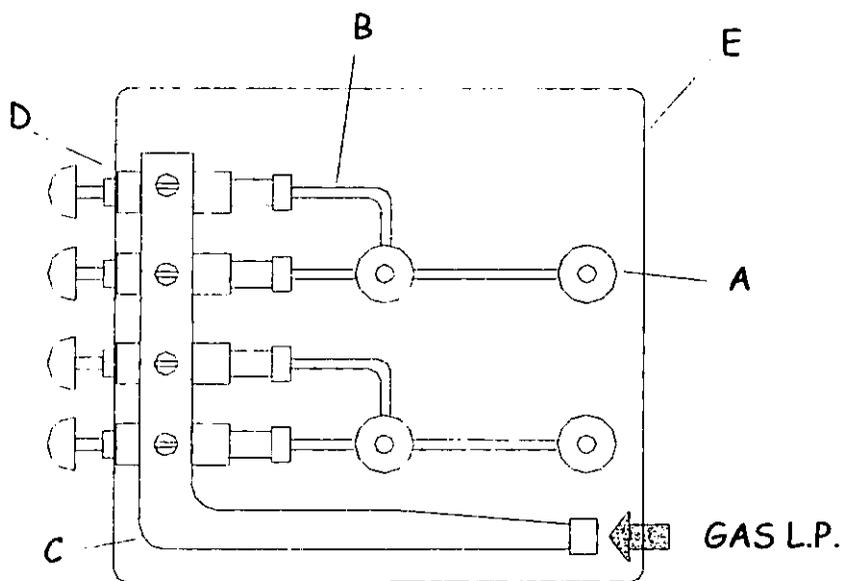


Figura 1.3.- Diseño actual del sistema de combustión de estufa doméstica

En la figura 1.4. se presenta una vista lateral del sistema de combustión de la estufa para observar a detalle la dirección que toma el gas. Los dispositivos que lo integran son:

- A.- Quemadores
- B.- Tubería de aluminio
- C.- Distribuidor
- D.- Válvulas
- E.- Estructura de la estufa
- F.- Venturi
- G.- Esprea

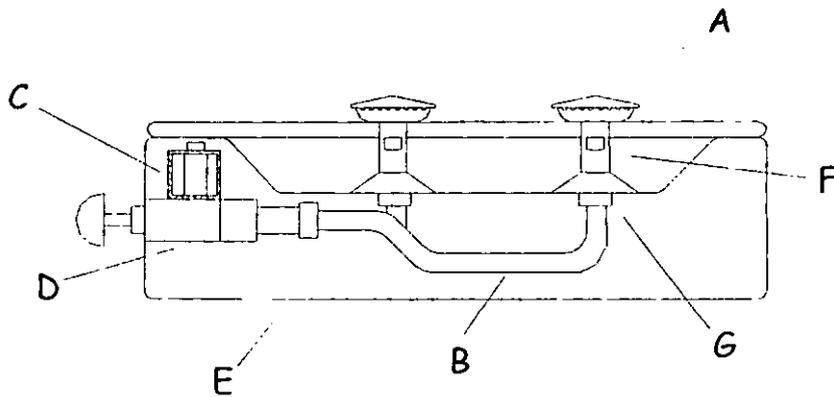


Figura 1.4.- Diseño actual del sistema de combustión de estufa doméstica

Capítulo 2.-Planteamiento del problema en el control de la flama de un quemador superior.

2.-Planteamiento del problema en el control de la flama de un quemador superior.

Como el lector podrá apreciar en este capítulo, se determinará el funcionamiento de las partes que hacen posible la combustión en la estufa doméstica, analizando a mayor detalle el funcionamiento de la válvula, ya que de ésta depende un control eficiente del tamaño de la flama.

2.1.-Definición del problema en la estufa doméstica.

Una empresa nacional fabricante de estufas domésticas, solicitó al Centro de Diseño y Manufactura (C.D.M.) de la Facultad de Ingeniería, UNAM un nuevo diseño para el control de la flama de una estufa doméstica, ya que se acercaba el año 2000 y quería innovar en el mercado. La empresa planteó que el nuevo dispositivo tendría que tener una combinación de un dispositivo mecánico con un control electrónico, para un control predecible del tamaño de la flama. A partir de esto, se planteó estudiar el sistema de combustión de la estufa doméstica, separando cada uno de los elementos que lo integran, y así determinar cual era el elemento que tiene más influencia en el control de la flama como se ve en la figura 2.1.

La empresa fabricante proporcionó una estufa doméstica modelo de su propia marca para llevar a cabo el estudio antes planteado.

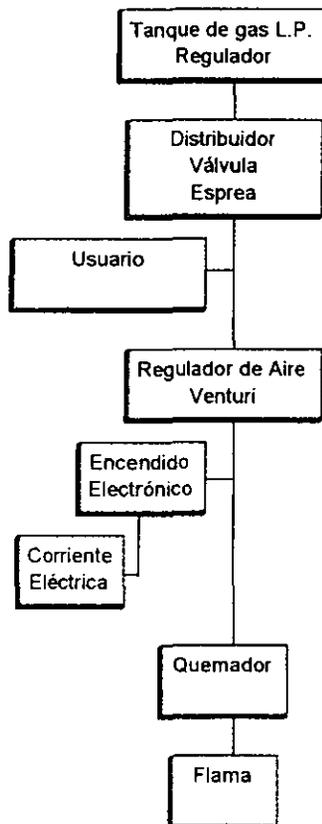


Figura 2.1.-Elementos del sistema de combustión de una estufa doméstica

La figura 2.1 es un diagrama general de los elementos que integran el sistema de combustión. El usuario, como se puede ver en la figura, es el encargado de regular manualmente el gasto volumétrico de la válvula, ayudándose de forma visual del tamaño de la flama y por intuición sabe que a mayor flama mayor calor.

Debido a que la válvula es controlada de forma manual por el usuario y es la que permite el paso del gas L.P. se determinó que es el elemento crítico del control de la flama.

A partir de lo anterior se plantearon dos caminos para llegar a una posible solución. Estos son:

1. Comenzar una investigación profunda de alternativas tecnológicas de control de flama en estufas domésticas que se estén aplicando a nivel mundial, así como posibles aplicaciones a nivel industrial o comercial donde se controle el gasto volumétrico de algún gas, tratando de adquirir alguno de esos dispositivos para realizar un estudio posterior.
2. Realizar una investigación de válvulas que actualmente manejen este concepto de control de flama de forma mecánica en estufas domésticas a nivel mundial, para poder proponer algún rediseño de la válvula que actualmente está usando la estufa modelo que se nos proporcionó y así comprender a nivel de mecánica y dinámica de fluidos el comportamiento de la válvula para dar una base técnica para un diseño nuevo.

Considerando el tiempo y recursos disponibles para el desarrollo del proyecto, nos orillamos hacia la opción número dos, la cual nos daría resultados confiables sin necesidad de realizar un alto gasto de recursos económicos.

Por lo tanto, se procedió a comprar diferentes tipos de válvulas que se instalan en las estufas importadas, y realizar una comparación con dos diferentes diseños de válvulas que actualmente está instalando en sus plantas de ensamblado la empresa fabricante, y así obtener alguna mejoría en este componente que proporcione un control más certero sobre el tamaño de la flama. La muestra con la que se contaba eran siete válvulas, de las cuales cinco eran importadas de Brasil y dos de origen nacional que son las que se instalan en las estufas de la empresa fabricante.

2.2-Objetivos y actividades del proyecto.

La solución que se plantea en este tema, es conocer el comportamiento del gasto volumétrico conforme el usuario de la estufa doméstica abre o cierra la válvula en un tiempo determinado, variando así el tamaño de la flama del quemador,. Para esto depende del diseño mecánico interno de la válvula por donde pasa el gas L.P. Con lo antes planteado, se cubriría el objetivo que a continuación se presenta .

Objetivo general:

Proponer mejoras de diseño al par de válvulas que nos proporcionó la empresa fabricante, con ayuda del estudio comparativo entre diferentes tipos de válvulas para estufas domésticas. Todo esto, para tener un control mecánico más predecible sobre la inyección del gasto volumétrico, para que el usuario pueda regular la flama en los quemadores superiores de forma confiable.

Actividades a desarrollar:

1. Selección de una muestra de diferentes tipos de válvulas comerciales para estufas domésticas, y la realización de un análisis cualitativo de cada una de ellas.
2. Clasificación de los principios de funcionamiento de las siete válvulas de estufas domésticas de la muestra.
3. Simulación de funcionamiento de cada una de las siete válvulas manejando como fluido aire en un banco de pruebas, recopilando los datos de gasto volumétrico y caída de presión con respecto al ángulo de giro del vástago de la válvula.
4. Realizar con datos obtenidos de las pruebas, curvas características de gasto volumétrico contra ángulo de giro de la válvula y caída de presión estática contra ángulo de giro de la válvula, y determinar cual es la válvula que mejor regula el gasto volumétrico con ayuda de un ajuste de curvas.
5. Determinar las diferencias físicas que existen entre los diseños del par de válvulas de la empresa fabricante y la mejor válvula obtenida en el punto anterior, para proponer algunas mejoras para el control de gasto volumétrico.

Capítulo 3.- Información técnica.

3.- Información técnica.

En este capítulo se trabajará con una muestra de siete válvulas, por lo tanto se incluirán diferentes aspectos y problemas de las válvulas que existen a nivel comercial e industrial para que el lector se introduzca al tema y comprenda de manera más sencilla el estudio que se desarrollará.

3.1.- Problemas en el control de válvulas a nivel industrial.

Como se sabe las válvulas sirven para oponer una restricción al flujo de fluidos, y por lo tanto siempre hay una caída de presión relacionada con el flujo en una válvula. La reducción de la presión ocurre por las pérdidas de energía por la fricción en el fluido de proceso. Dado que la válvula actúa como absorbedor de energía en relación con el proceso, debe ser adecuada desde el punto de vista de contener al fluido en condiciones estáticas como son de presión, temperatura, corrosividad, etc., sino también en las condiciones dinámicas como son de velocidad, caída de presión, erosión, etc.

El tipo de servicio junto con las condiciones de funcionamiento determinaran el tipo requerido de válvula. En general, algunos diseños de válvulas son más adecuados para servicio de paso y cierre, y otros están destinados a estrangulación. Los diseños de válvulas de los que se tiene información, el lector los conocerá en el Apéndice A, donde se menciona el nombre de la válvula, las partes que la conforman y la función que pueden desempeñar cada una de ellas. Las válvulas que se mencionan en el Apéndice se manipulan de manera manual.

Existe otro tipo de válvulas que se les llama de control, lo que significa que el proceso tiene algún tipo de sistema automático de control, las cuales pueden ser controladas por alguna variable como por nivel, flujo, temperatura, presión u otra índole. Suele incluir los componentes típicos de un sistema de control con retroalimentación de bucle cerrado que son sensor (detector), transmisor, controlador, válvula de controlador y el proceso en sí. La selección de la válvula de control requiere del conocimiento de todos estos factores, en especial del proceso.

Las válvulas de control se utilizan en muchas aplicaciones que incluyen control de líquidos, reducción de presión de gases, flujo de calor a los calefactores, etc. Pero junto con esto se presentan ciertos problemas como son, la alta velocidad que ocurre con la conversión de la carga de presión en carga de velocidad, cuando el fluido sufre una caída de presión al circular por el orificio de la válvula.

En servicios con líquidos el problema surge cuando la velocidad en las guarniciones de la válvula excede de 300 pies/s. En servicio con gas o vapores se presenta cuando la velocidad excede de Mach 0.4. Con esta velocidad ocurre una combinación de los siguientes problemas:

1. Erosión
2. Control errático
3. Vibración
4. Fugas con la válvula cerrada
5. Ruido

Erosión:

Cuando la carga de presión de un líquido se convierte en carga de velocidad en la válvula, llegará a una zona de alta velocidad y de mínima presión llamada chorro contraído o contracción de chorro. Si la presión mínima es menor que la presión de vapor o de la presión de la solución gaseosa del líquido ocurrirá vaporización instantánea y formación de burbujas instantáneas. Sin embargo, las burbujas afectan cuando viene la recuperación de presión pasando la válvula, éstas se aplastan rápidamente por implosión, y la disipación resultante de energía puede aplicar esfuerzos concentrados en el cuerpo de la válvula del orden de 100 000 psi, lo cual desprenderá partículas de metal llamándose a este fenómeno “de chorro de arena”.

Por lo general, los gases secos y limpios no ocasionan problemas de erosión, pero la presencia de gotitas de líquido o de sólidos pueden ocasionar erosión severa en poco tiempo. El proceso se acelera cuando la válvula tiene fugas o funciona cerca del asiento; esta erosión se denomina turbulencia.

El vapor es el que más turbulencia (estrangulación) produce porque a menudo está saturado o húmedo. El vapor supercalentado, aunque este seco, es muy erosivo, aunque se podría esperar que actuase como un gas seco.

Control errático:

El control errático puede ser por velocidad excesiva, debida a un factor o una serie de ellos. Las velocidades sumamente altas producirán turbulencia que ocasiona cargas laterales erráticas en el vástago y el macho de la válvula. Los cambios en la relación entre la velocidad y la presión estática en la válvula pueden alterar la relación de equilibrio de fuerzas en sentido vertical. Estas situaciones pueden ser:

1. Alterar la relación concéntrica entre el macho y el asiento, lo cual variará la característica del flujo.
2. Ocasionar vibración de alta frecuencia y desgaste, que destruirán los componentes internos de la válvula.
3. Crear inestabilidad vertical en el operador de la válvula, que producirá oscilación vertical.
4. Producir vaporización instantánea o cavitación variable de los líquidos lo que ocasionará control deficiente.

Vibración:

La vibración es resultado de la alta velocidad en la válvula y en la tubería, puede ocasionar falla de la válvula y lo que es peor falla en la tubería. Se han observado vibraciones de la tubería corriente abajo de una válvula de control de gas con elevada caída de presión del orden de 2500 Hz y una amplitud de 100 milésimas de pulgada.

Ruido en las válvulas de control:

El ruido y la velocidad siempre van juntos. Hay tres fuentes principales de ruido en las válvulas: vibración mecánica, cavitación y acción aerodinámica.

La *vibración mecánica* la ocasiona la turbulencia generada por la velocidad por grandes volúmenes de flujo y suele ser imprescindible. Es más común en las válvulas de asiento doble, pero las de asiento sencillo no están libres de ella. Los niveles de ruido suelen ser bajos en la gama de 50 y 1500 Hz; las frecuencias más altas suelen ser por la excitación de los componentes internos de la válvula debido a la resonancia natural. Esta resonancia puede producir mucho ruido y llegar hasta unos 90 dBa con una frecuencia de hasta 7000 Hz. Puede ser aceptable como ruido, pero es muy fácil que ocasione daños a la válvula.

La *cavitación* también puede producir ruido según sea la intensidad. Este ruido subirá, conforme aumenta la caída de presión, hasta cierto valor máximo y luego disminuirá a alguna magnitud menor. Esto se debe a la reducción progresiva en la recuperación de presión corriente abajo que ocasiona el aplastamiento de las burbujas. Los niveles de ruido durante la cavitación suelen estar en la gama de 90 a 100 dBa, pero pueden ser más altos.

El *ruido aerodinámico* es la más común y peor fuente de ruido en las válvulas. Lo ocasionan la turbulencia del fluido y las ondas de choque por alta velocidad o el volumen de un gas. Se puede predecir con facilidad en cuanto a su ocurrencia y magnitud.

Aunque una velocidad de circulación de Mach 1.0 (sonica) es casi una garantía de que habrá ruido, se puede producir grados más intensos con apenas Mach 0.4 si hay caídas más o menos pequeñas en la presión cuando se manejan grandes volúmenes de flujo.

Sin embargo, el ruido que más molesta es el que produce el flujo sónico o casi sónico. Por ejemplo se han encontrado niveles de ruido hasta de 140 dBa cerca de algunas válvulas. La reducción de presión de gas natural de 4000 a 1000 psig genera alrededor de 5000 W de nivel de presión de sonido. El cuerpo de la válvula y la pared del tubo absorberán alrededor de 4950 W; los 50 W que escapan producirán alrededor de 100 dBa a una distancia de 3 pies. Si la reducción hubiera sido de un chorro libre o una descarga, el nivel de presión de sonido habría sido mayor de 150 dBa. Por comparación el nivel de ruido de un avión de reacción al despegar es de alrededor de 117 dBa.

De lo anterior descrito el lector podrá observar los diferentes problemas que existen en las válvulas, de los cuales se parte para realizar nuevos diseños de válvulas para disminuir o erradicar esos problemas dependiendo de las necesidades del proceso, que en ocasiones estos diseños son de manera empírica o de prueba y error.

Para válvulas que son de uso común como las válvulas globo, mariposa, bola, etc. que se necesitan para cierto proceso, en ocasiones los fabricantes proporcionan tablas que contienen especificaciones de las válvulas como ciertos factores, coeficientes de flujo, tamaño, etc., y junto con una ecuación donde se sustituyen ciertas constantes del proceso, dándonos como resultado el tamaño de válvula adecuada. De los métodos que se tiene referencia son el método ISA / ANSI y el método FISHER para dimensionar válvulas.

Estos métodos se describen de manera general en el Apéndice B.

3.2.-Válvulas de control para estufas domésticas actuales.

En este tema se presenta información específica de las siete válvulas analizadas en el estudio comparativo, partiendo de la cantidad de piezas que las integran, mostrando cada una de ellas en una serie de figuras y, lo más importante de todo esto, es el principio de funcionamiento que tiene cada una de las válvulas para poder estudiar el tipo de estrangulación a la que someten al gas L.P., para poder regular su flujo. Los nombres de las marcas de las válvulas y de las estufas que las usan, se omiten por ser información confidencial.

3.2.1.-Selección de muestra de válvulas para análisis .

En diferentes centros de distribución de refacciones en el Distrito Federal para estufas domésticas, solo se pudo conseguir cinco diferentes tipos de válvulas que usan las estufas importadas.

3.2.2.-Análisis cualitativo.

De una muestra que consta de siete válvulas (dos de origen nacional y cinco de origen brasileño) se obtienen diferentes características generales para poder tener referencia de cada una de ellas. En la Tabla 3.1 se presentan algunos datos de cada una de las válvulas, donde se observa el proceso de fabricación debido al número de piezas con las que están fabricadas, los materiales que se emplean para fabricarse y su procedencia, entre otros datos importantes.

Válvulas	No. Piezas	Materiales	Peso (gr)	Angulo de giro (°)	Costo –menudeo (Pesos)	Procedencia
Válvula-A	10	Aluminio Latón Acero Neopreno Hierro	50	0 a 255	90	Brasil
Válvula-B	9	Aluminio Acero Neopreno Hierro	46	0 a 210	85	México
Válvula-C	8	Aluminio Acero Solera Neopreno	46	0 a 240	60	Brasil
Válvula-D	8	Aluminio Acero Neopreno	50	0 a 195	60	Brasil
Válvula-E	9	Aluminio Acero Solera Neopreno	44	0 a 255	60	Brasil
Válvula-F	10	Aluminio Acero Letón Neopreno	26	0 a 270	60	Brasil
Válvula-G	11	Aluminio Acero Hierro Neopreno	30	0 a 270	85	México

Tabla 3.1.- Siete válvulas de estufas domésticas y sus características cualitativas

En la figura 3.1 se presentan las siete válvulas con las que se realizará el estudio, y se observa la diferencia de tamaños y el tipo de conexión que tienen con el distribuidor y con la esprea dentro de la estufa:

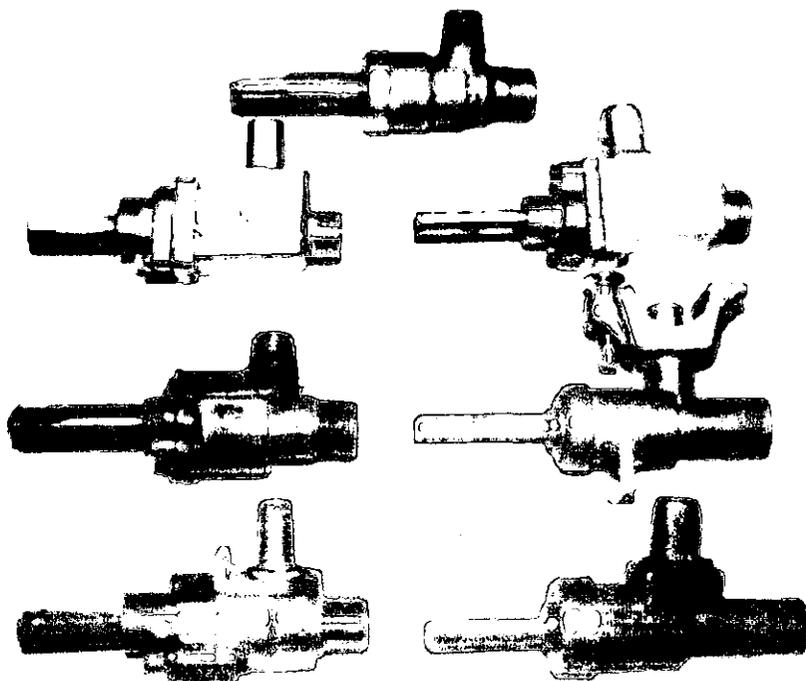


Figura 3.1.- De arriba a bajo, de izquierda a derecha: válvula E, válvula G, válvula F, válvula A, válvula D, válvula B y válvula C.

En la figura 3.2. se presenta el despiece de la válvula G, la cual cuenta con la mayor cantidad de piezas. Una de las válvulas que tienen menor número de piezas es la válvula C como se muestra en la figura 3.3. El resto de las válvulas se encuentran en el Apéndice C.

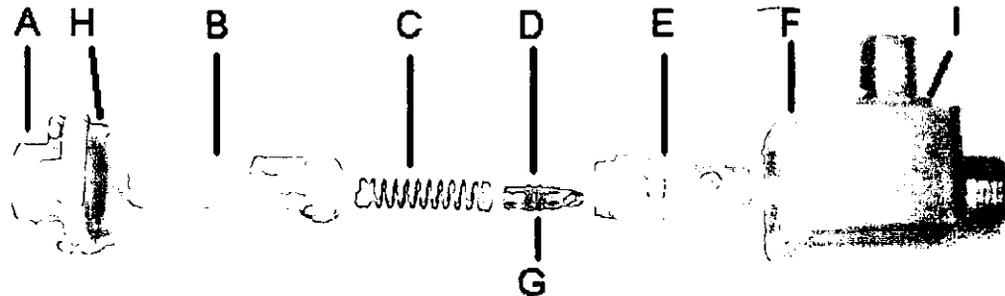


Figura 3.2.- Despiece de válvula G.

Como se aprecia en la figura 3.2., las diferentes piezas que integran la válvula G son :

- A. Tapa de la válvula
- B. Vástago de la válvula donde se coloca la perilla
- C. Resorte
- D. Válvula de aguja
- E. Macho cónico
- F. Cuerpo de la válvula
- G. O'ring (dos piezas)
- H. Tornillo (dos piezas)
- I. O'ring de neopreno

En la válvula G, el gas L.P. entra por un agujero lateral que está en la parte superior de la válvula y sale por la parte roscada frontal. Como se podrá dar cuenta el lector en este tipo de válvula existe la combinación de una válvula macho y una válvula de aguja, la razón es porque para un gasto volumétrico mayor de gas (flama máxima) se usa la primera y para un gasto volumétrico pequeño de gas (flama mínima) se usa la segunda.

Cada una de las piezas mostradas en la fig.3.2. tienen una función dentro de la válvula y se describe de la siguiente manera:

El cuerpo de la válvula conecta el distribuidor de la estufa a la esprea (como se puede apreciar en el capítulo 1 figura 1.4) y guarda todo el mecanismo que forman las demás piezas. El macho cónico direcciona el gas dentro de la válvula por medio de canales y orificios, y contiene la válvula de aguja. La válvula de aguja ajusta el gasto volumétrico mínimo para el tamaño de la flama mínima y consta de un par de O'rings para evitar fugas. El resorte ejerce una fuerza en contra del macho cónico para que se ajuste a las paredes internas del cuerpo de la válvula y en ambas partes tienen una pequeña película de grasa para evitar fugas. La tapa sella y sujeta todas las piezas antes mencionadas y además tiene una pista interna por donde corre el vástago de la válvula, proporcionando un seguro de giro cuando la válvula se encuentra cerrada. Este seguro se quita empujando en sentido hacia donde sale el gas y girando el vástago de la válvula en sentido contrario de las manecillas del reloj, asegurándose nuevamente a los 90° de giro, siendo este punto la flama máxima.

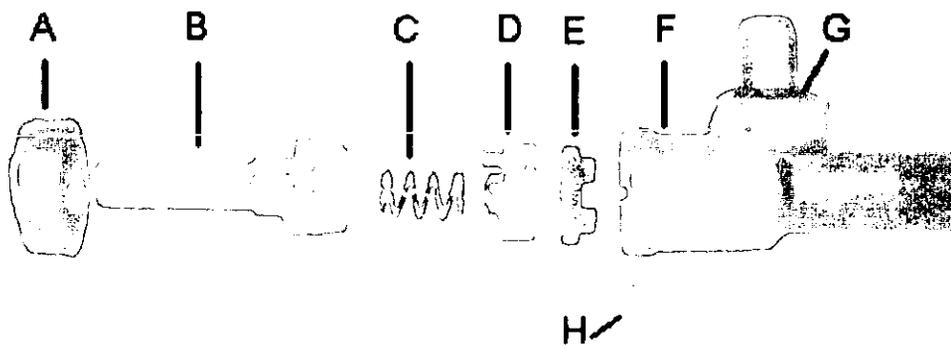


Figura 3.3.- Despiece de válvula C.

Como se aprecia en la figura 3.3., las diferentes piezas que integran la válvula C son :

- A. Tapa de la válvula (ajuste a presión)
- B. Vástago de la válvula
- C. Resorte
- D. Disco ranurado regulador
- E. Junta de neopreno
- F. Cuerpo de la válvula
- G. O'ring de neopreno
- H. Perno guía

En la válvula C, las piezas realizan las mismas funciones que en la válvula G, lo único diferente es la constante del resorte, ya que en la válvula C es mayor debido a que el disco ranurado de regulación ajusta de forma plana con la junta de neopreno y no en forma cónica como en la válvula G, por lo tanto se requiere una mayor fuerza para evitar fugas de gas L.P. También el perno guía se inserta en el cuerpo de la válvula y se desliza sobre una pista que tiene el vástago de la válvula y por último, la tapa de la válvula sella a presión sin necesidad de tornillos.

3.2.3.-Principios de funcionamiento de las válvulas.

A continuación se describen los tres principios de operación que se encontraron en las siete válvulas que son estudiadas, aunque existen ciertas diferencias físicas entre ellas.

Disco ranurado:

En la válvula, el flujo (gas L.P. o gas natural) entra por un pequeño orificio en un extremo superior de la válvula, choca con un disco que se encuentra dentro del cuerpo de la válvula. Este disco consta de ranuras y barrenos no pasados los cuales se van a encargar de direccionar y regular el flujo conectando dos barrenos internos que tiene el cuerpo de la válvula. Para evitar fugas se tiene una pequeña goma de neopreno.

A continuación se presentan los diferentes pasos que el usuario realiza para operar la válvula con su respectiva figura, donde se muestra a la izquierda una vista frontal de la posición del disco ranurado y a la derecha, el corte lateral del cuerpo de la válvula donde se observa la dirección del flujo junto con el disco ranurado:

Paso 1: La válvula se encuentra cerrada y el vástago está a 0° .

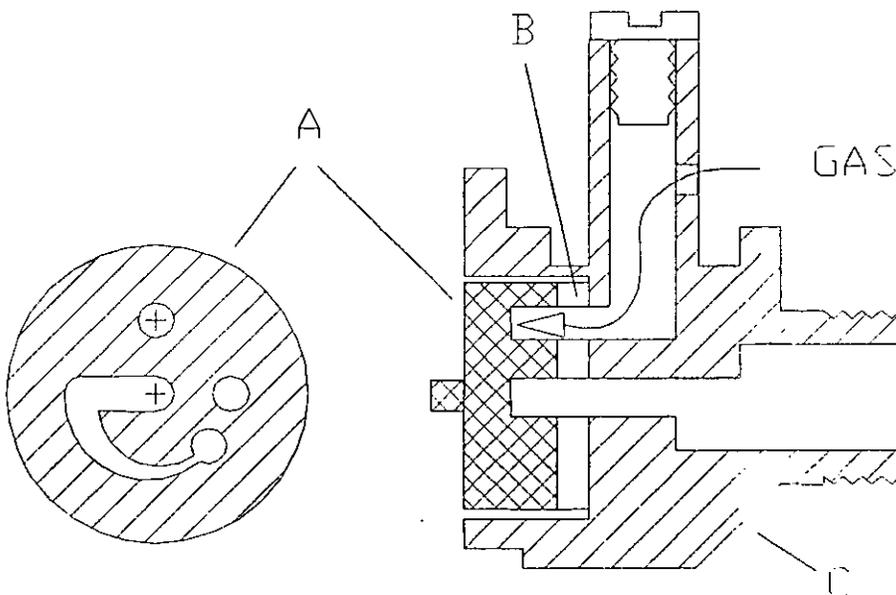


Figura 3.4.- Corte transversal de válvula de disco ranurado (cerrada)

Referente a la figura 3.4, la parte de la válvula que se señala con la letra "A" es el disco ranurado, el cual se puede observar en corte transversal (derecha) y frontal (izquierda) con la finalidad de que el lector observe la trayectoria del flujo. La parte de la válvula que se señala con la letra "B", es una junta de neopreno y la letra "C" es el cuerpo de la válvula. Como se aprecia, el gas no puede circular a través de la válvula debido a que los barrenos internos del cuerpo de la válvula no están comunicados por el disco ranurado.

Paso 2: El vástago de la válvula se encuentra en la flama máxima a 90° de giro en sentido contrario a las manecillas del reloj (varía el ángulo conforme al modelo de la válvula) ya que el disco está comunicando los dos barrenos internos del cuerpo de la válvula por medio de un canal, como se observa en la figura 3.5 en la vista frontal del disco ranurado.

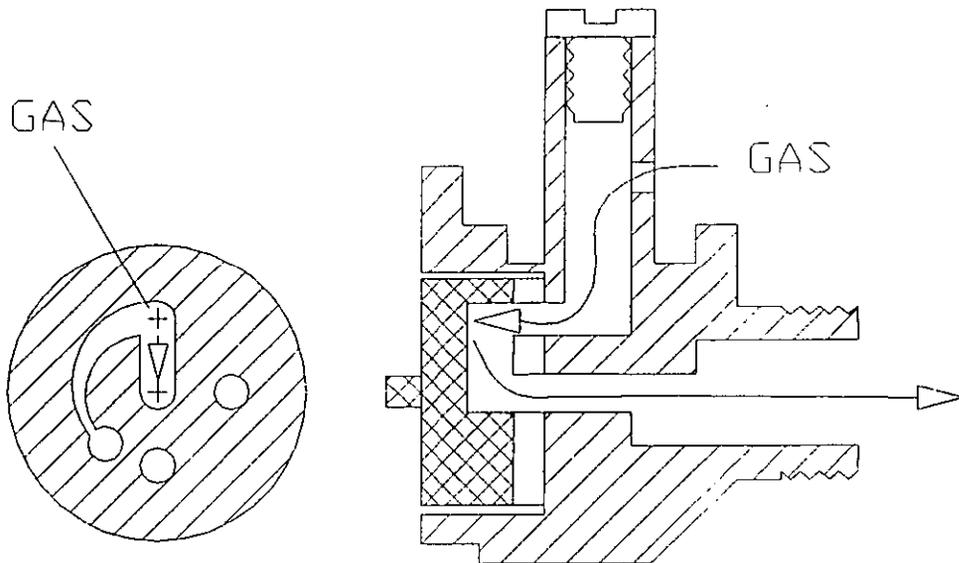


Figura 3.5.- Corte transversal de válvula de disco ranurado (flama máxima)

Paso 3: El vástago de la válvula se dirige hacia una flama pequeña, ya que se está reduciendo el área de paso del flujo entre los barrenos internos del cuerpo de la válvula aproximadamente a 195° de giro por medio de un canal, como se observa en la figura 3.6 en la vista frontal del disco ranurado.

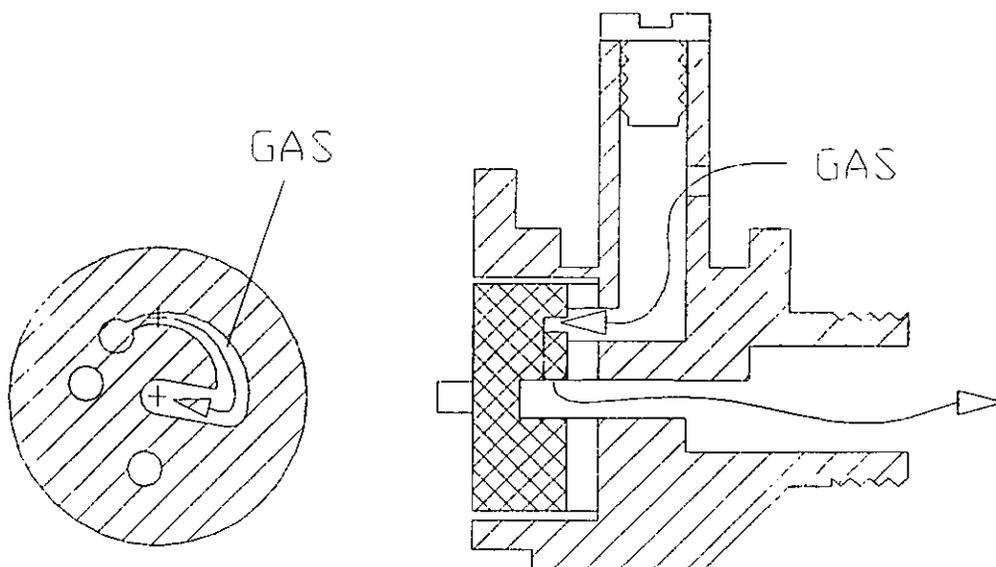


Figura 3.6.- Corte transversal de válvula de disco ranurado (vástago 195°)

Paso 4: El vástago de la válvula se encuentra en la flama mínima aproximadamente 225° de giro. En la figura 3.7 se observa cómo el flujo se estrangula y poco después se expande dando un pequeño giro, siendo este paso de forma divergente.

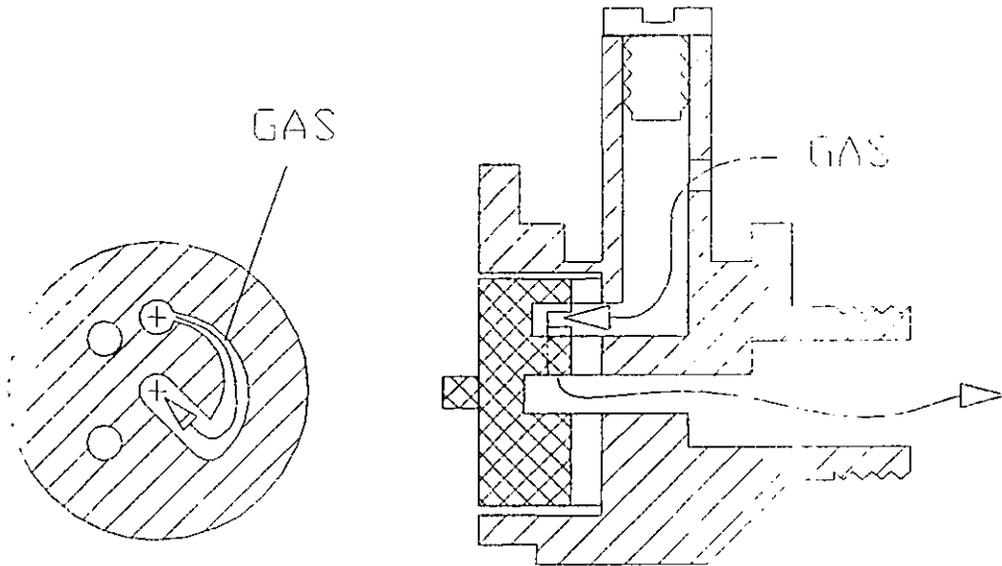


Figura 3.7.- Corte transversal de válvula de disco ranurado (flama mínima)

En la figura 3.8 se observan los diferentes discos ranurados reguladores de cuatro válvulas de las siete que representa la muestra de válvulas a estudiar. Los discos se colocaron suponiendo que las válvulas están cerradas, e incluso se dibujó el sentido de giro del vástago de la válvula cuando el usuario intenta abrirla para una flama máxima. En tres válvulas (A, C, D) la flama máxima es a los 60° grados de giro y la última válvula (B) es a los 90° grados de giro, incluso en la figura se señala con una letra "Z" una de las ranuras que comunica los dos barrenos internos del cuerpo de la válvula, que con anterioridad ya se han explicado. Siguiendo el sentido de giro del vástago de la válvula como se señala en la figura, a partir de esta ranura "Z", la flama comienza a disminuir debido a que la ranura "X" comienza a hacerse más angosta y a disminuir su profundidad.

Las válvulas que presentan este principio de funcionamiento son A,B,C y D.

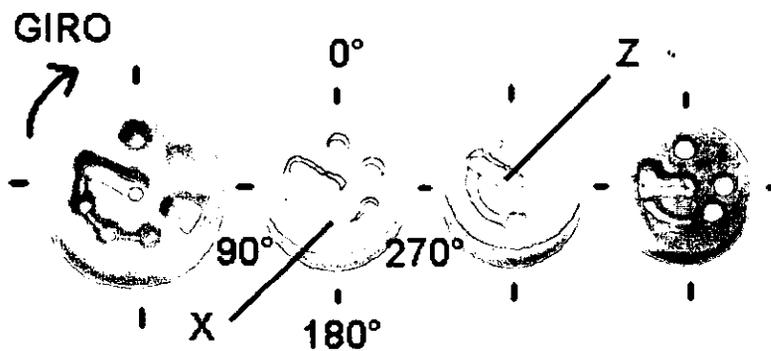


Figura 3.8.- Discos ranurados de izquierda a derecha : válvula A, válvula C, válvula D y válvula B.

En la figura 3.9 se presenta un corte transversal del cuerpo (C) de la válvula B, la junta de neopreno y el disco ranurado (A).

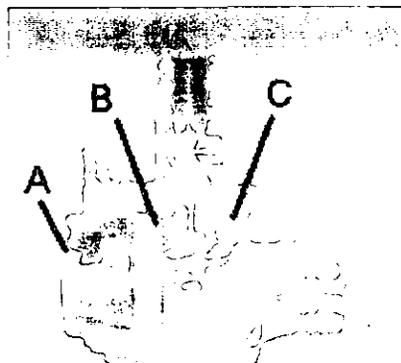


Fig.3.9 .-Corta transversal del cuerpo de la válvula B.

Macho Cónico:

En la válvula, el flujo (gas L.P. o gas natural) pasa por un pequeño orificio en un extremo superior de la válvula, choca con un macho cónico que se encuentra dentro del cuerpo de la válvula. El macho cónico tiene ranuras superficiales e internas junto con algunos barrenos que se encargan de direccionar y regular el flujo entre la entrada y la salida de la válvula. Esta válvula tiene una grasa especial en el macho cónico para evitar fricción y fugas del flujo. En el interior del macho cónico está una pequeña válvula de aguja que regula el tamaño de la flama mínima al gusto del usuario. En la parte superior de la válvula, por donde entra el gas, también tiene un sello de neopreno para evitar fugas cuando se conecta al distribuidor de flujo de la estufa.

A continuación se presentan los diferentes pasos que el usuario realiza para operar la válvula con su respectiva figura, donde se nos muestra a la izquierda el corte frontal del macho cónico y la dirección del flujo y a la derecha el corte lateral del cuerpo de la válvula, la dirección del flujo junto con el cono:

Paso 1: La válvula se encuentra cerrada y su vástago está a 0° .

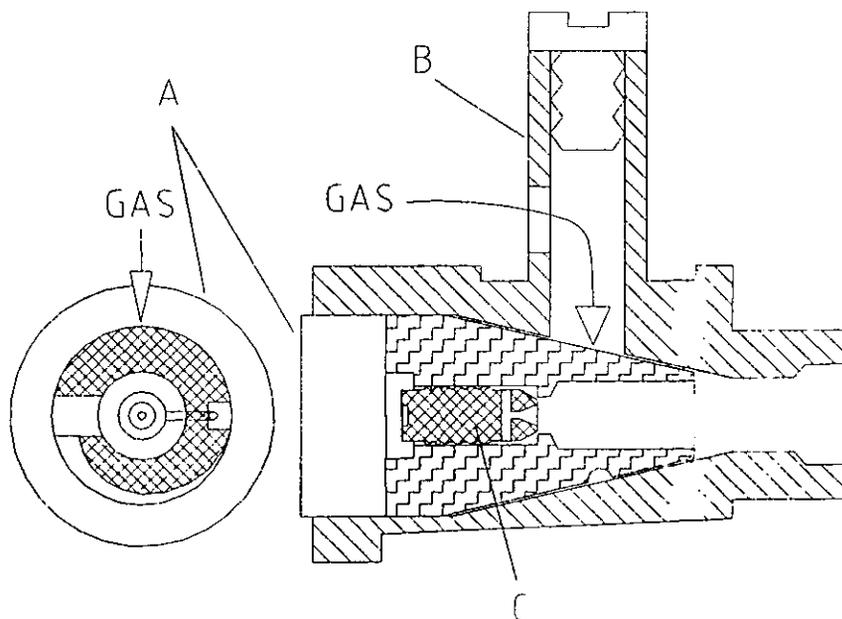


Figura 3.10.- Corte transversal de válvula de macho cónico (cerrada)

En la figura 3.10 la letra “A” señala el macho cónico el cual hace girar el usuario por medio del vástago de la válvula y en este caso no permite el paso del flujo. La letra “B” señala el cuerpo de la válvula y la letra “C” es la válvula de aguja.

Paso 2: El vástago de la válvula se encuentra en la flama máxima a 90° , ya que el macho cónico está conectando la entrada y la salida de la válvula por medio de un barreno pasado en el macho cónico. En la figura 3.11 se señala el paso del flujo a través de la válvula con la letra “D”.

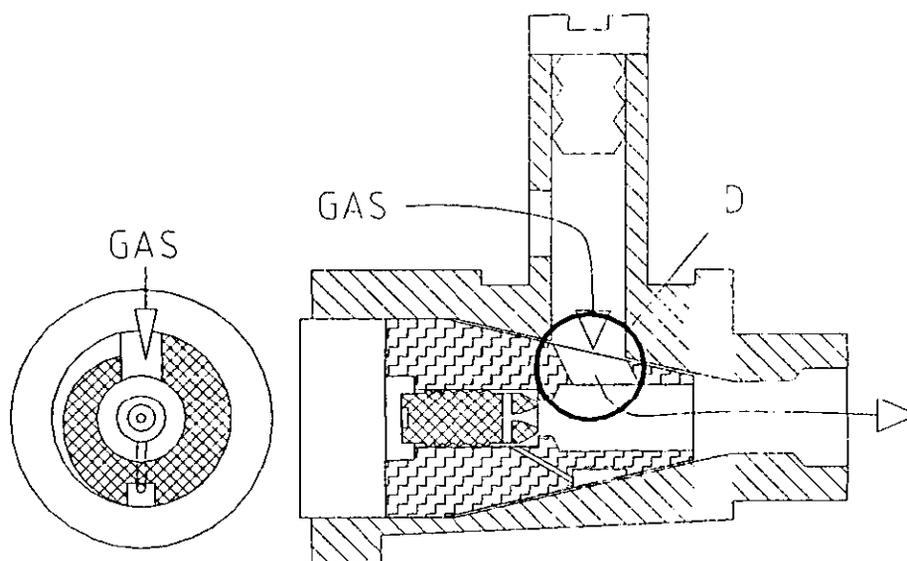


Figura 3.11.- Corte transversal de válvula de macho cónico (flama máxima)

Paso 3: El vástago de la válvula se dirige hacia una flama pequeña ya que se está reduciendo el área de paso del flujo entre la entrada y la salida de la válvula por medio de un canal superficial del macho cónico y que se señala en la figura 3.12 con la letra "E", por lo tanto el flujo gira alrededor del macho cónico y sale por el barreno que sirve de flama máxima. El vástago de la válvula está aproximadamente a 180° .

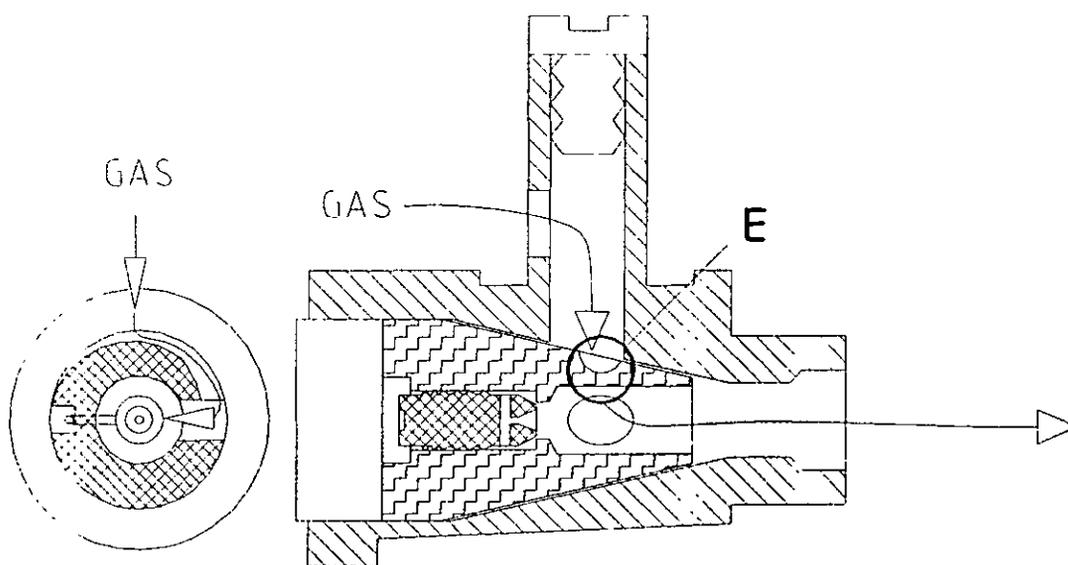


Figura 3.12.- Corte transversal de válvula de macho cónico (vástago a 180°)

Paso 4: El vástago de la válvula se encuentra en la flama mínima aproximadamente 270° , pasando el flujo por un conducto interno del macho cónico que se señala en la figura 3.13 con la letra "F" y que desemboca a la válvula de aguja, saliendo de esta forma de la válvula.

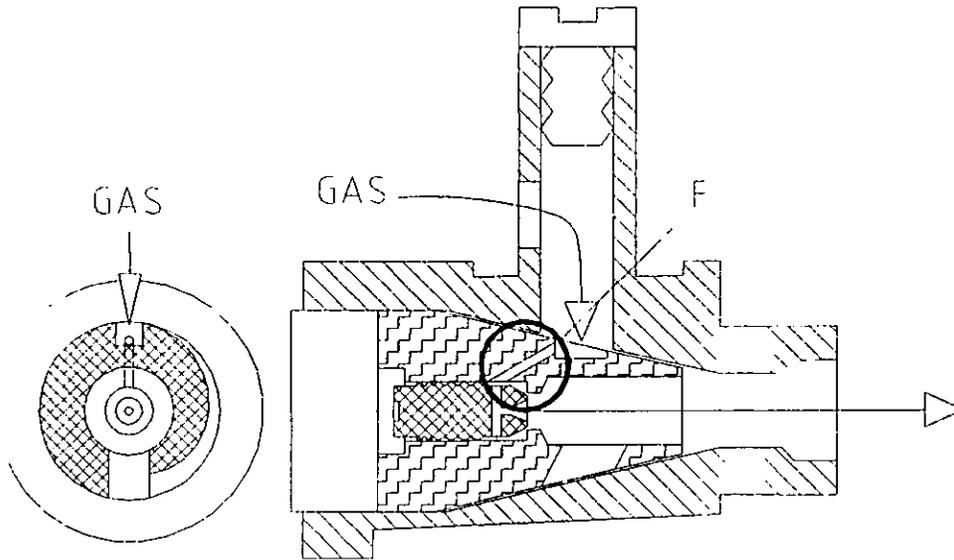


Figura 3.13 .- Corte transversal de válvula de macho cónico (flama mínima)

Las válvulas que funcionan bajo este principio son la G y la F.

Helicoidal:

En la válvula, el flujo (gas L.P. o gas natural) entra por un orificio por la parte superior de la válvula, choca con un cilindro que se encuentra dentro del cuerpo de la válvula. El cilindro se conecta junto con el vástago de la válvula y tiene un O'ring para evitar fugas de gas, el usuario es el encargado de girar el vástago y así es como puede regular el gasto volumétrico. Para que el cilindro pueda girar de forma helicoidal o sea realizar una trayectoria de giro como la cuerda de un tornillo, la válvula internamente tiene una pista donde se desliza este cilindro y da así la trayectoria antes mencionada. En el otro extremo del cilindro, en la salida de la válvula, consta de otro O'ring el cual queda fijo en el interior de la válvula y sirve para sellar cuando la válvula está completamente cerrada y para reducir el gasto volumétrico cuando el usuario decide tener una flama mínima.

A continuación se presentan los diferentes pasos que el usuario realiza para operar la válvula con su respectiva figura, donde se muestra el corte lateral del cuerpo de la válvula y la dirección del flujo junto con el cilindro:

Paso 1: La válvula está cerrada y el vástago está a 0°.

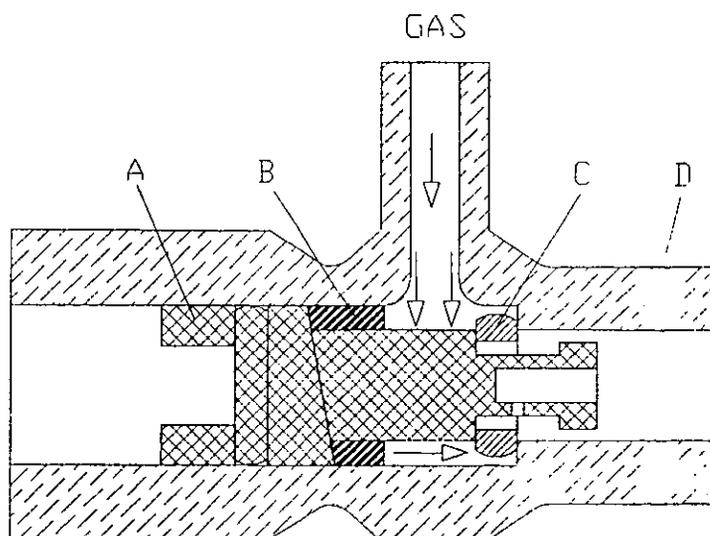


Figura 3.14 .- Corte transversal de válvula de helicoidal (cerrada)

En la figura 3.14, la letra “A” nos señala el cilindro, la “B” es la pista, la “C” es un O’ring y la “D” es el cuerpo de la válvula.

Paso 2: Al cilindro lo hace girar el vástago de la válvula, se desliza de forma helicoidal despegándose del O'ring que se encuentra a la salida de la válvula permitiendo el paso del flujo debido a que el cilindro tiene una reducción de diámetro, proporcionando al usuario desde una flama máxima a una flama mínima, como se observa en la figura 3.15.

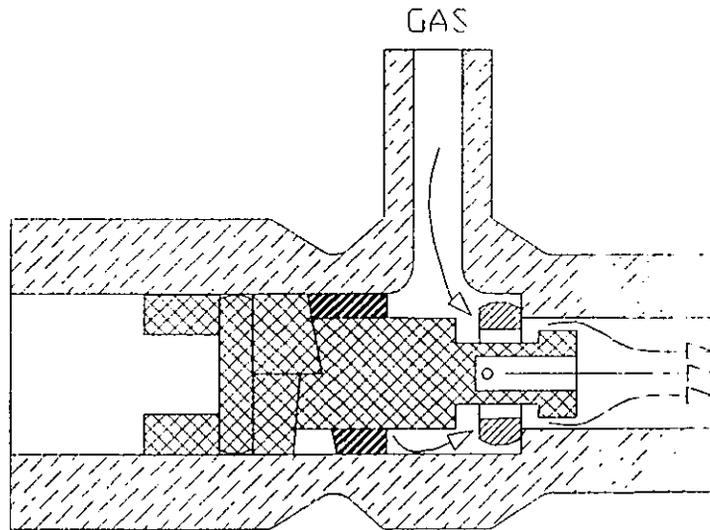


Figura 3.15 .- Corte transversal de válvula de helicoidal (flama máxima)

Paso 3: El cilindro llega a un tope proporcionando al usuario una flama mínima, esto es porque el extremo del cilindro sella con el O'ring y fuerza al flujo a pasar únicamente por un orificio, señalándose en la figura 3.16 con la letra "E".

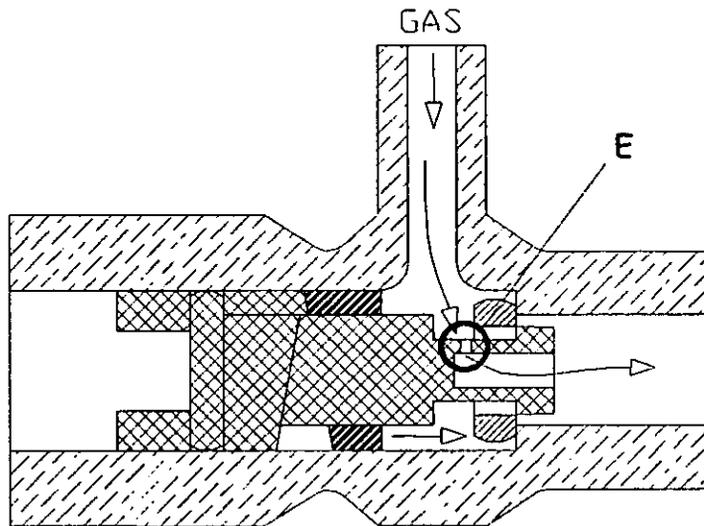


Figura 3.16 .- Corte transversal de válvula de helicoidal (flama mínima)

La válvula que funciona bajo este principio es la E y a continuación se presenta en la figura 3.17 un corte transversal del cuerpo de la válvula (D) y las partes internas de ésta como el cilindro (A), la pista (B) y el O'ring (C).

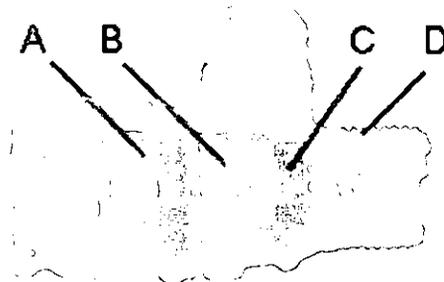


Fig.3.17 .- Corte transversal del cuerpo de la válvula E.

Capítulo 4.-Banco de pruebas para válvulas de estufas domésticas.

4.-Banco de pruebas para válvulas de estufas domésticas.

4.1.-Finalidad y descripción del banco de pruebas.

El objetivo de este banco es observar la regulación del gasto volumétrico de gas de cada una de las siete válvulas, así como la caída de presión conforme el usuario regula desde flama mínima a flama máxima, como se puede observar en la figura 4.1., donde se presentan posiciones principales para el funcionamiento de una válvula en una estufa doméstica.

Para comenzar a armar el banco de pruebas, las unidades del ángulo de giro del vástago de la válvula fueron medidas en grados, partiendo como punto de referencia la posición cerrada de 0° y llegando a un giro completo de 360° con un incremento de 15° , en sentido contrario a las manecillas del reloj como se muestra en la figura 4.2. La sección graduada que nos interesaba estudiar es entre la flama máxima y la flama mínima.

Para poder lograr lo anterior, se hicieron unas plantillas de cartón con la división antes mencionada y fue colocada en el collarín de cada vástago de las válvulas junto con una perilla de plástico. La perilla consta de una cejilla la cual nos indica la posición del vástago con respecto a la plantilla y nos facilita el giro del vástago de la válvula.

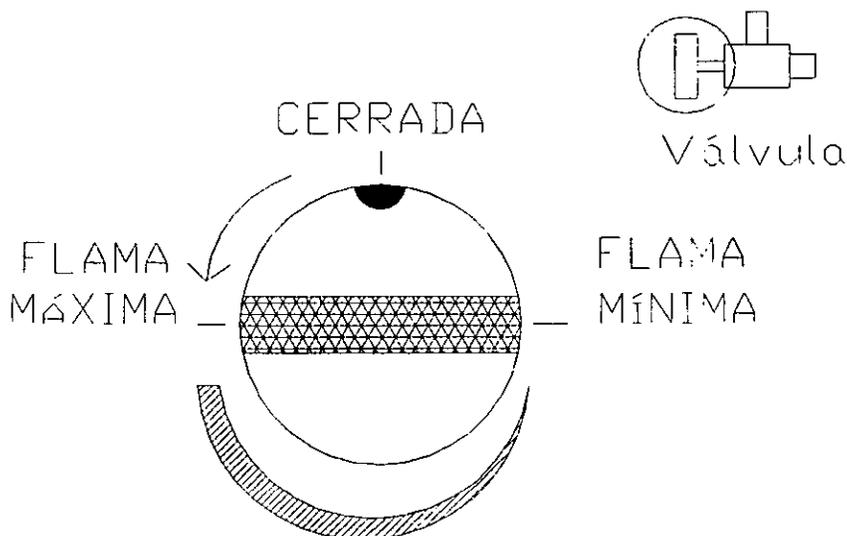


Figura 4.1.- Perilla de una válvula de estufa (vista frontal)

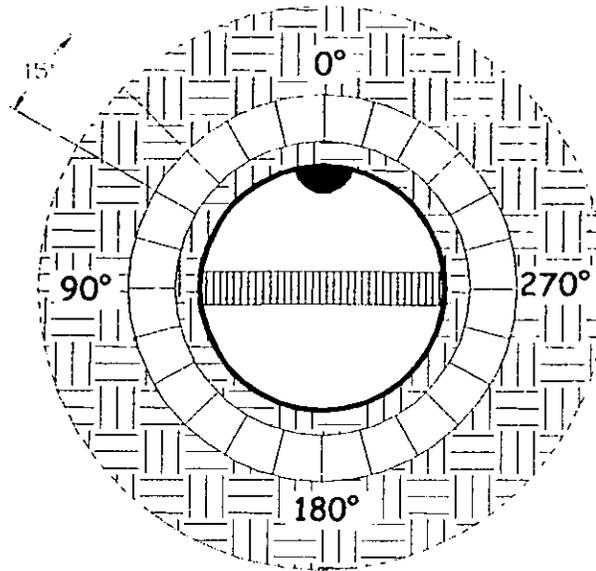


Figura 4.2 Plantilla de cartón graduada con perilla

El siguiente paso era hacer un circuito parecido al de una estufa doméstica, donde juega un papel importante la válvula a estudiar. Con ayuda de varios dispositivos de conexión, control y medición se llevó a cabo la simulación.

El fluido que se usaría en la prueba sería aire, por no ser peligroso y por proporcionar datos representativos en las pruebas. Este aire era suministrado por un compresor que alimenta una línea que se comunica a diferentes laboratorios de los talleres del Anexo de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería (UNAM), teniéndose una presión manométrica 6 psi en línea.

En la figura 4.3. se presenta el banco de pruebas y se señalan cada uno de los dispositivos que lo integran.

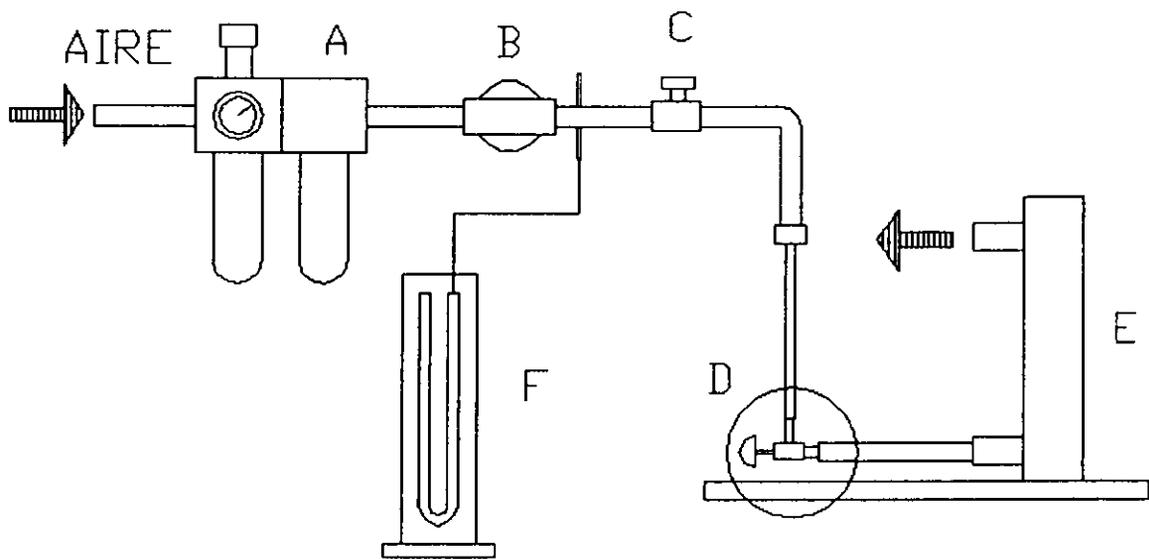


Figura 4.3.- Banco de pruebas

De la figura 4.3 los elementos que se usaron para realizar el banco de pruebas son:

- A. Filtro – Regulador
- B. Regulador de gas L.P. (11 pulgadas ó 27.94 cm columna de agua)
- C. Válvula de paso de bola
- D. Válvula de control de flama
- E. Rotámetro
- F. Manómetro diferencial

4.1.1.- Funciones de los elementos del banco de pruebas.

A continuación se describirá la función que realiza cada elemento que integra el banco de pruebas:

El regulador de aire sirve para mantener la presión entre 4.5 y 4 psi., ya que es la presión que se maneja en un tanque estacionario o en tanques de 30, 40 y 80 kg en gas L.P. El filtro para aire retiene la humedad que contiene éste o impurezas que afecten el paso del aire en la válvula. Se incluye un segundo regulador para gas L.P. para disminuir la presión del aire a 11 pulgadas columna agua. El manómetro diferencial de vasos comunicantes muestra la caída de presión estática en centímetros columna de agua conforme el vástago de la válvula gira abriendo o cerrando, conectando un extremo a la entrada de la línea de aire.

Una válvula de paso de bola sirve para abrir o cerrar completamente el flujo de aire cuando se cambie de válvula de control de flama. La válvula de control de flama es conectada al circuito por su parte superior, simulando su montaje al distribuidor de la estufa doméstica y finalmente está el rotámetro que indicará el gasto volumétrico de aire a la salida de la válvula (Escala de 5 a 50 Standard Cubic Foot per Hour – SCFH).

De forma adicional se tiene un termómetro para conocer la temperatura ambiental al momento de realizar las pruebas, un cronómetro y la presión atmosférica (53 cm de Hg en la Ciudad de México).

Con respecto a las conexiones, se tuvieron que revisar una por una para que no existieran fugas de aire, ya que existiría un error de medición. Las conexiones realizadas eran de latón con tubo de cobre, manguera flexible de plástico que se usa en neumática, manguera de plástico tejida, coples de hierro, etc.

Antes de comenzar con la descripción de las pruebas, se debe de considerar que los instrumentos de medición que conforman el banco de pruebas son simples y únicamente cumplen con los principios básicos de medición, ya que para realizar bajo norma estas pruebas se deben satisfacer ciertas especificaciones de estabilidad, las cuales ayudan a tener menos variables dentro del proceso de medición.

Ahora, con lo referente a las pruebas realizadas es una realidad palpable, ya que en la vida cotidiana se enfrentan a esto los usuarios y los fabricantes de estufas.

Debido a que existe una gran variedad de tipos de conexiones, que en ocasiones éstas no cuentan con la calidad necesaria en materiales y acabados, poniendo en riesgo la seguridad del manejo de gas L.P. o por no encontrarse las conexiones adecuadas para el uso del gas L.P. y gas natural en el mercado comercial, se usan conexiones hidráulicas.

El ambiente en el que puede trabajar la estufa es variable, por esta razón se tomó la lectura de ciertas variables como son la temperatura atmosférica y la presión atmosférica.

4.1.2.- Descripción de la prueba.

Se decidió comenzar la prueba de flama mínima hacia flama máxima ya que las válvulas presentaban cierto juego mecánico, lo cual nos presentaba un pequeño error en la posición gradual.

A continuación se numeran los pasos que se siguieron en la realización de la prueba ya una vez montado el banco de pruebas:

1. Se conecta la manguera a la entrada y a la salida de la válvula de control de flama, dejando ésta cerrada (fig. 4.3. D).
2. Se abre la válvula de paso de bola (fig. 4.3. C).
3. Con ayuda del regulador para aire (fig. 4.3. A) se regula la presión estática de 3.5 a 4.0 psi. en la línea del aire, llegando con el manómetro diferencial a 11 pulgadas columna agua, ya que con ayuda del regulador para gas L.P. (fig. 4.3. B) se puede alcanzar esta presión.
4. Se abre la válvula de control de flama (fig. 4.3. D) en la posición de flama máxima durante un minuto y después se comienza a cerrar lentamente hasta la posición del vástago de flama mínima para estabilizar la presión manométrica (fig. 4.3. F) en el circuito.

5. Una vez más se regresa el vástago de la válvula de control de flama a la posición de cerrada y se revisa la presión estática en la línea del banco de pruebas (11 pulgadas columna de agua ó 27.94 cm. columna de agua). Si en un dado caso cae o sube la presión estática se tiene que volver a repetir los pasos 3 y 4.
6. Estando estable la presión estática en el circuito del banco de pruebas, se abre la válvula en la posición de flama máxima, dejándose un minuto para que se estabilice (la norma NOM-023-SCFI-1993 marca 5 min.) y se toma la temperatura ambiental.
7. Al minuto se toma la lectura de la presión estática del manómetro diferencial (fig. 4.3. F) y el gasto volumétrico del rotámetro.
8. Se gira la perilla de la válvula de control de flama lentamente hasta la posición de flama mínima. Se deja que transcurra un minuto y se vuelven a tomar la lectura del gasto volumétrico y de la presión estática. Se sigue girando la perilla en sentido de las manecillas del reloj cada 15^o grados hasta alcanzar la posición de flama máxima. Entre lectura y lectura se deja transcurrir un minuto. Obviamente se tomó la lectura del gasto volumétrico y de la presión estática.
9. Finalizando la prueba, se vuelve a tomar la lectura de presión estática cerrando completamente, para saber si hubo alguna caída de presión, junto con esto la temperatura ambiental.
10. La prueba se repite 3 veces con cada una de las siete válvulas.

Se presenta en la figura 4.4 una fotografía del banco en donde se realizaron todas la pruebas dentro del Centro de Diseño y Manufactura (C.D.M.) de la Facultad de Ingeniería (UNAM).



Figura 4.4.- Banco de pruebas en el Centro de Diseño y Manufactura (UNAM)

En la figura 4.4 se muestran los siguientes elementos:

- A. Perilla de la Válvula
- B. Válvula de control
- C. Manguera de plástico para conexión con Rotámetro
- D. Rotámetro
- E. Salida de aire del Rotámetro
- F. Manguera de plástico que se conecta a la Válvula de control

En la figura 4.5 se presenta el rotámetro en posición frontal:

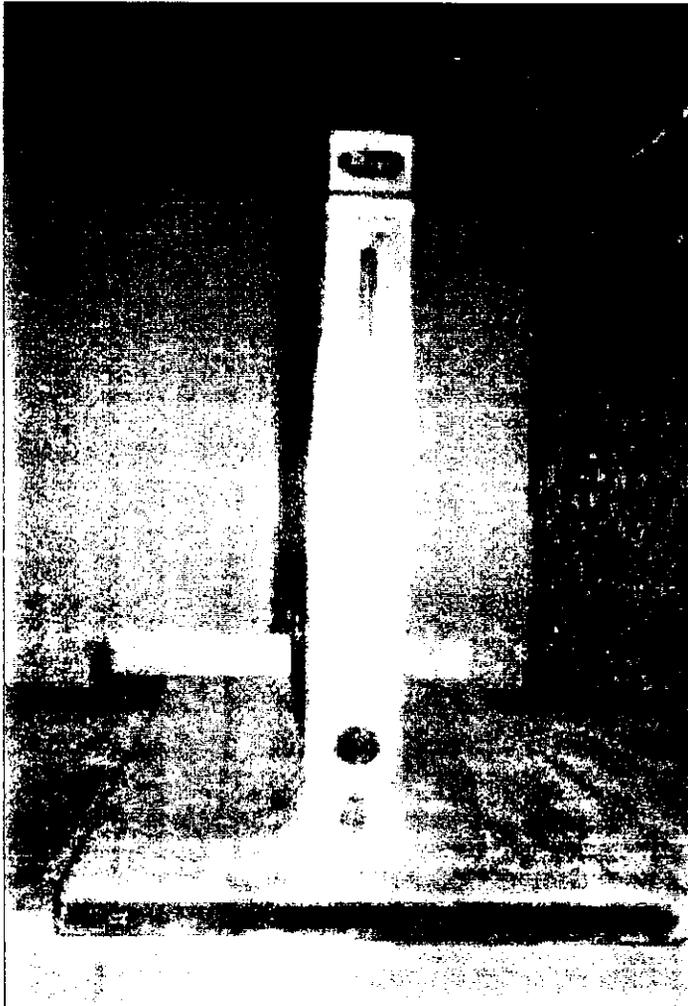


Figura 4.5.- Rotámetro (vista frontal)

4.2.-Recopilación de las lecturas de las siete válvulas.

Se realizaron tres pruebas bajo las condiciones mencionadas en el apartado anterior, de las cuales se fueron tomando los diferentes lecturas del comportamiento del gasto volumétrico y la caída de presión estática conforme ángulo de giro del vástago de la válvula de control de flama. De estos tres datos se obtuvo un promedio.

Las unidades de ingeniería para el gasto volumétrico son Standard Cubic Foot per Hour (SCFH) con respecto al ángulo de giro del vástago de la válvula.

A continuación se presenta las lecturas obtenidas del gasto volumétrico en la tabla 4.1, junto con los nombres de cada una de las válvulas:

GRADOS	Válvula A (SCFH)	Válvula B (SCFH)	Válvula C (SCFH)	Válvula D (SCFH)	Válvula E (SCFH)	Válvula F (SCFH)	Válvula G (SCFH)
270						2	2.17
255						2	3.92
240						2	5.83
225					1.83	3	7.5
210	3.75	2.50	3.33		2.50	4	5
195	2.33	2.83	4.50		3.33	5.33	5.67
180	3.17	3.08	6.08		4.58	7.75	6.17
165	5.50	3.50	7.17		7.83	8.92	6.67
150	4.75	3.58	8.00	2	8.92	9.83	10.75
135	7.58	4.08	8.50	2.5	9.83	12.42	19.33
120	8.75	4.58	9.75	8	11.00	16.25	23.08
105	8.50	9.08	12.42	11	12.83	20.33	24.67
90	9.25	11.25	14.33	12	15.58	23.25	25.33
75	16.50		15.33		17.00		
60	18.08		15.50		17.50		

Tabla 4.1.- Gasto volumétrico de las siete válvulas

Si el lector es un poco observador, en la Tabla 4.1 notará que en la válvula A el ángulo de giro va de 0° a 255° , en C de 0° a 240° y en E de 0° a 255° , no fue posible tomar la lectura a partir del ángulo de giro de 225° en adelante, debido a la resolución de la escala del rotámetro, ya que era muy pequeño el gasto volumétrico.

La Tabla 4.2 muestra la presión estática o manométrica que se tomó a la entrada de la válvula, siendo esta presión la diferencia entre la presión atmosférica contra la presión de 11 pulgadas columna de agua (27.94 cm H₂O) que es la presión que se tiene en la entrada de toda instalación de gas L.P. con regulador para una estufa doméstica.

	Válvula A	Válvula B	Válvula C	Válvula D	Válvula E	Válvula F	Válvula G
GRADOS	cm - Agua						
270						27.13	27.27
255	27.57				27.42	27.12	26.98
240	27.57		27.52		27.42	27.12	26.77
225	27.27		27.52		27.25	26.98	26.63
210	26.95	27.15	27.07		27.18	26.83	26.80
195	27.13	27.10	26.83	27.52	27.05	26.68	26.77
180	27.03	27.09	26.67	27.47	26.90	26.45	26.72
165	26.80	27.00	26.60	27.40	26.62	26.23	26.63
150	26.87	26.98	26.43	27.28	26.38	25.97	25.82
135	26.55	26.90	26.39	27.23	26.12	25.53	24.82
120	26.37	26.85	26.03	26.53	25.90	25.17	24.43
105	26.43	26.30	25.55	25.77	25.67	24.70	24.32
90	26.25	25.78	25.43	25.70	25.40	24.42	24.25
75	25.15		25.32		25.25		
60	25.00		25.30		25.20		

Tabla 4.2.- Presión estática de las siete válvulas

Con la ayuda de las Tablas 4.1 y 4.2 se dibujan curvas características en gráficas de tipo X-Y donde los grados de giro del vástago de la válvula de control de flama son las abscisas y tanto el gasto volumétrico y la presión estática son las ordenadas. Así, por cada válvula se tienen dos curvas.

Ambas curvas serán colocadas en la misma gráfica para comprobar que el gasto volumétrico y la presión estática son inversamente proporcionales, o sea que la presión estática depende del gasto volumétrico que exista en la válvula, debido a que la presión total aumenta.

A continuación, en la figura 4.6 se muestra un ejemplo de este tipo de gráfica con la válvula "A". De lado izquierdo se tienen las unidades de presión estática y de lado derecho las unidades de gasto volumétrico.

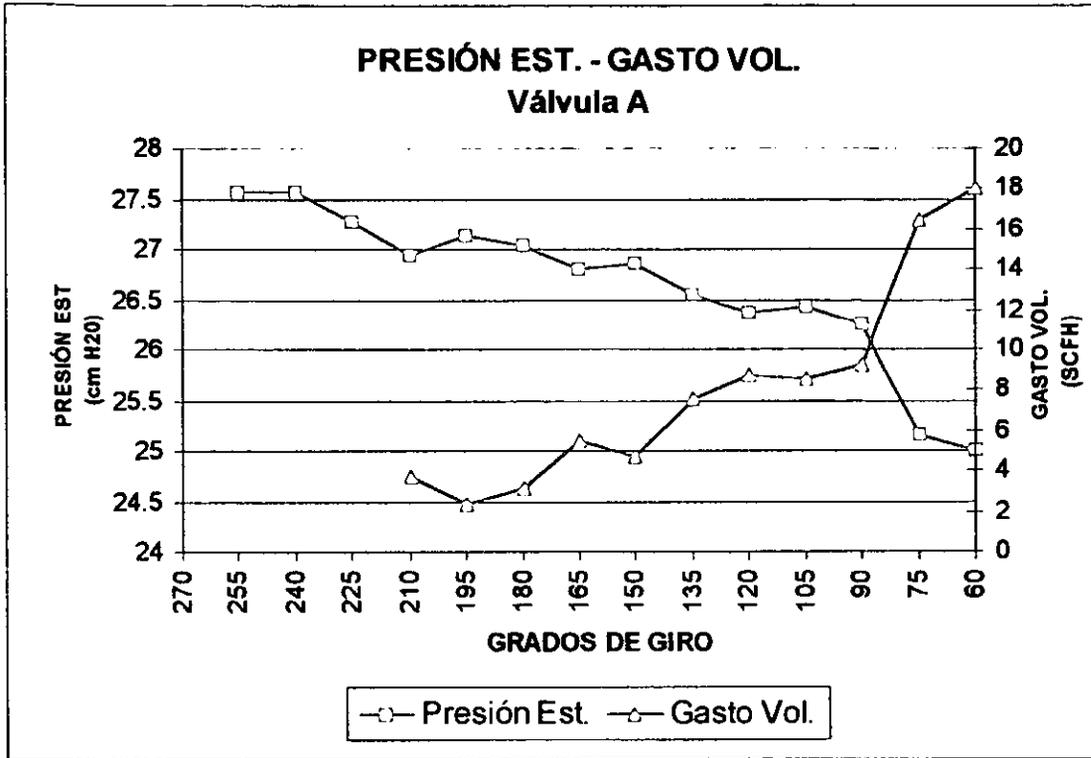


Figura 4.6.- Gasto volumétrico y presión estática de la válvula A.

En el apéndice D se presenta el mismo tipo de gráfica antes mostrada, para cada una de las seis válvulas restantes.

4.3.-Estudio comparativo de las válvulas.

De las Tablas 4.1 y 4.2 se hicieron una serie de curvas características del gasto volumétrico y de la presión estática (ordenadas) contra el ángulo de giro del vástago de la válvula (abscisa). A partir de esto, se debía saber cual de las válvulas era la que presentaba un control de inyección del aire con cambios pequeños en su gasto volumétrico, conforme se gira el vástago de la válvula.

Para saber cual es la mejor válvula en control, se debía de tener otro punto de comparación y se optó por ajustar cada una de las curvas del gasto volumétrico y de presión estática que obtuvieron con los datos tomados del banco de pruebas, contra ángulo de giro del vástago de la válvula por medio del método numérico de los mínimos cuadrados, para que nos arrojara un polinomio de segundo grado y con él obtener una nueva curva ajustada para cada una de las siete válvulas. Ya que se tenían ambas curvas en una misma gráfica, existía una diferencia en las ordenadas, o sea en el gasto volumétrico y en la presión estática. Esta diferencia numérica se tomó de forma absoluta, para poder obtener un valor numérico promedio de cada una de las siete válvulas y compararlo entre ellas.

A continuación se presentan las *ecuaciones normales para la regresión lineal* (Miller, Irwin, 1986, *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*, Prentice Hall, México):

$$\begin{aligned} \sum y &= nb_0 + b_1 \sum x + \dots + b_p \sum x^p \\ \sum xy &= b_0 \sum x + b_1 \sum x^2 + \dots + b_p \sum x^{p+1} \\ \dots & \\ \sum x^p y &= b_0 \sum x^p + b_1 \sum x^{p+1} + \dots + b_p \sum x^{2p} \end{aligned}$$

Por tratarse de un polinomio de segundo grado las ecuaciones quedarían de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \sum y &= nb_0 + b_1 \sum x + b_2 \sum x^2 && \dots A \\ \sum xy &= b_0 \sum x + b_1 \sum x^2 + b_2 \sum x^3 && \dots B \\ \sum x^2 y &= b_0 \sum x^2 + b_1 \sum x^3 + b_2 \sum x^4 && \dots C \end{aligned}$$

Para obtener el valor de las literales b_0 , b_1 y b_2 y sustituirlas en las siguiente ecuación de segundo grado:

$$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 \quad \dots D$$

Donde las literales:

x : Grados de giro del vástago de la válvula

y : Gasto volumétrico ó presión estática

n : Número de lecturas tomadas

b : Constantes que se piensan encontrar

Se presenta un ejercicio del cálculo de los valores para obtener la ecuación de segundo grado y así dibujar una curva polinomial ideal.

Válvula A (presión estática)

Haciendo los cálculos con los datos de las pruebas de la Tabla 4.1. :

$$\sum x = 2205$$

$$\sum x^2 = 398475$$

$$\sum x^3 = 78883875$$

$$\sum x^4 = 1.6568 \times 10^{10}$$

$$\sum y = 372.93333$$

$$\sum xy = 59321.5$$

$$\sum x^2y = 10790063$$

Sustituyendo en las ecuaciones A, B y C los valores antes obtenidos.

$$372.93333 = 14 b_0 + 2205 b_1 + 398475 b_2 \quad \dots\dots\dots A1$$

$$59321.5 = 2205 b_0 + 398475 b_1 + 78883875 b_2 \quad \dots\dots\dots B1$$

$$10790063 = 398475 b_0 + 78883875 b_1 + 1.6568 \times 10^{10} b_2 \quad \dots\dots\dots C1$$

Resolviendo esta matriz por medio de la serie de Taylor (*Miller, Irwin, 1986, Probabilidad y Estadística para Ingenieros, Prentice Hall, México*), se obtiene:

$$b_0 = 23.595$$

$$b_1 = 2.9955 \times 10^{-2}$$

$$b_2 = -5.8846 \times 10^{-5}$$

Entonces sustituyendo en la ecuación D:

$$y = 23.595 + (2.9955 \times 10^{-2})x - (5.8846 \times 10^{-5})x^2 \dots\dots\dots D1$$

Válvula A (gasto volumétrico)

Haciendo los cálculos con los datos de las pruebas de la Tabla 4.2. :

- $\Sigma x = 1485$
- $\Sigma x^2 = 225225$
- $\Sigma x^3 = 37087875$
- $\Sigma x^4 = 6.4592 \times 10^9$
- $\Sigma y = 88.16667$
- $\Sigma xy = 9553.75$
- $\Sigma x^2y = 1204068.8$

Sustituyendo en las ecuaciones A, B y C los valores antes obtenidos:

- $88.16667 = 11 b_0 + 1485 b_1 + 225225 b_2 \dots\dots\dots A2$
- $9553.75 = 1485 b_0 + 225225 b_1 + 37087875 b_2 \dots\dots\dots B2$
- $1204068.8 = 225225 b_0 + 37087875 b_1 + 6.4592 \times 10^9 b_2 \dots\dots\dots C2$

Resolviendo esta matriz por medio de la serie de Taylor (*Miller, Irwin, 1986, Probabilidad y Estadística para Ingenieros, Prentice Hall, México*), se obtiene:

- $b_0 = 32.9701$
- $b_1 = -0.3001$
- $b_2 = 7.6016 \times 10^{-4}$

Entonces sustituyendo en la ecuación D:

$$y = 32.9701 - (0.3001)x - (7.6016 \times 10^{-4})x^2 \dots\dots\dots D2$$

En las ecuaciones D1 y D2, nuestra variable es el ángulo de giro de la perilla y debemos de asignarle valores para que nos proporcione el valor de la presión estática o del gasto volumétrico.

Si estos nuevos valores calculados se grafican, se obtendría una curva ajustada que se muestra en la figura 4.7.

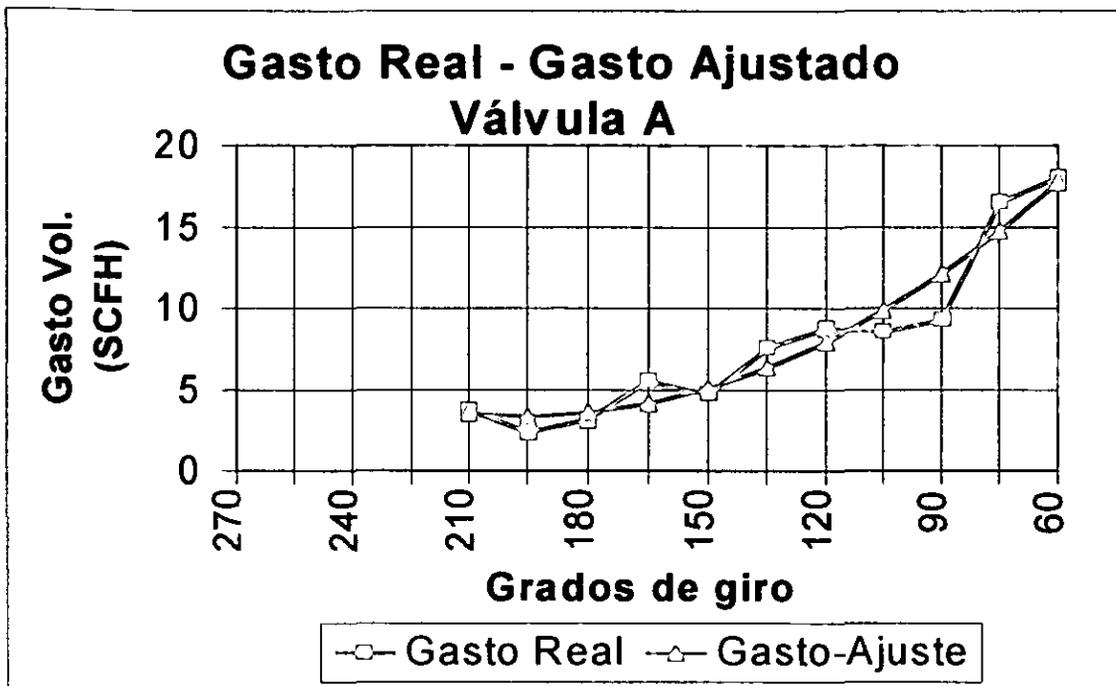


Figura 4.7.- Curva real y ajustada del gasto volumétrico en válvula A

En la figura 4.7 se tienen dos curvas las cuales nombramos gasto real (lecturas del banco de pruebas) y el gasto de ajuste (valores calculados a partir de la ecuación D2) en donde se puede ver que la curva de gasto real es muy accidentada debido a que no tiene un comportamiento definido por una línea en el aumento del gasto volumétrico. Por otro lado, la curva de gasto ajuste representa el comportamiento ideal a partir de los valores obtenidos de la válvula A, a partir de las lecturas reales.

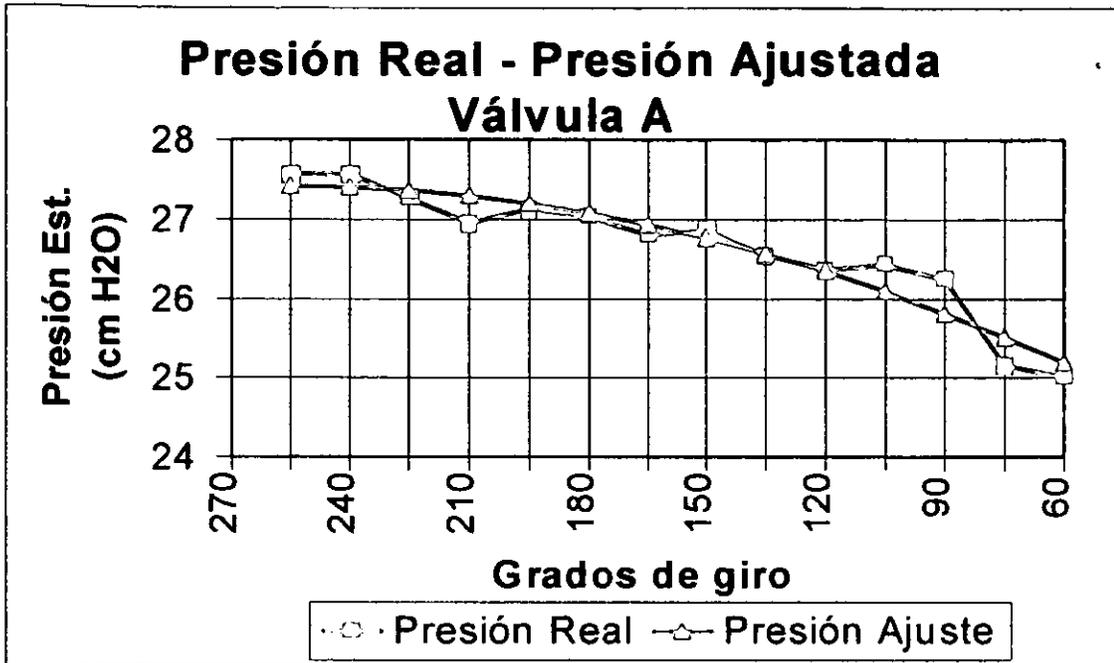


Figura 4.8.- Curva real y ajustada de presión estática de válvula A.

En la figura 4.8 se tienen dos curvas las cuales nombramos como presión real (lecturas tomadas del banco de pruebas) y presión de ajuste (valores calculados a partir de la ecuación D1). Una vez más se aprecia muy accidentada la curva de presión real comparada con la curva de presión ajuste.

Las ecuaciones de segundo grado de tipo D y las Tablas E.1. y E.2., con los valores obtenidos por medio de las ecuaciones de segundo orden del gasto volumétrico y de la presión estática con sus respectivas gráficas de las seis válvulas restantes, se presentan en el Apéndice E.

Capítulo 5.-Análisis de resultados.

5.-Análisis de resultados.

5.1.- Análisis de la mejor válvula

A partir de las gráficas presentadas en el apéndice E, donde se observan la curva real y la de ajuste del gasto volumétrico y de presión estática de las siete válvulas, se definirá la mejor válvula de ellas.

Para definirlo, se tuvo que obtener un valor cuantitativo de cada válvula siendo éste la diferencia que existe entre la curva real y la curva ajustada en el eje de las ordenadas de las gráficas que se presentan en el Apéndice E. A continuación se muestran un ejemplo en la figura 5.1.

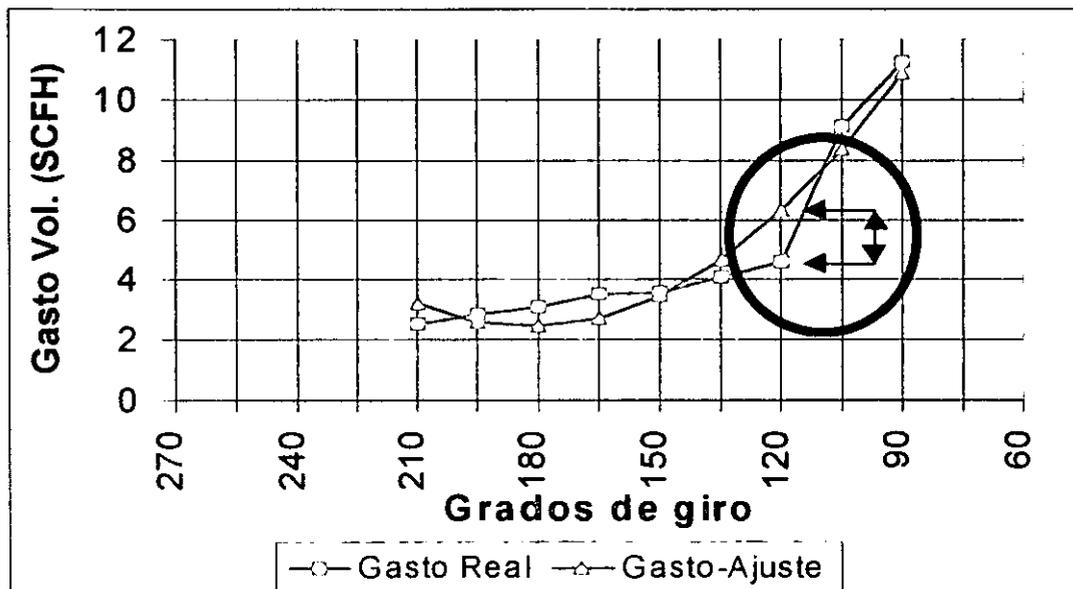


Fig.5.1. Diferencia entre curva real y curva ajustada.

La diferencia es de forma numérica pero absoluta, debido a que el valor en ocasiones era negativo. Se sumaron estas diferencias y se obtuvo una diferencia promedio que a continuación se presenta en la figura 5.2 que corresponde al gasto volumétrico y en la figura 5.3 a la presión estática.

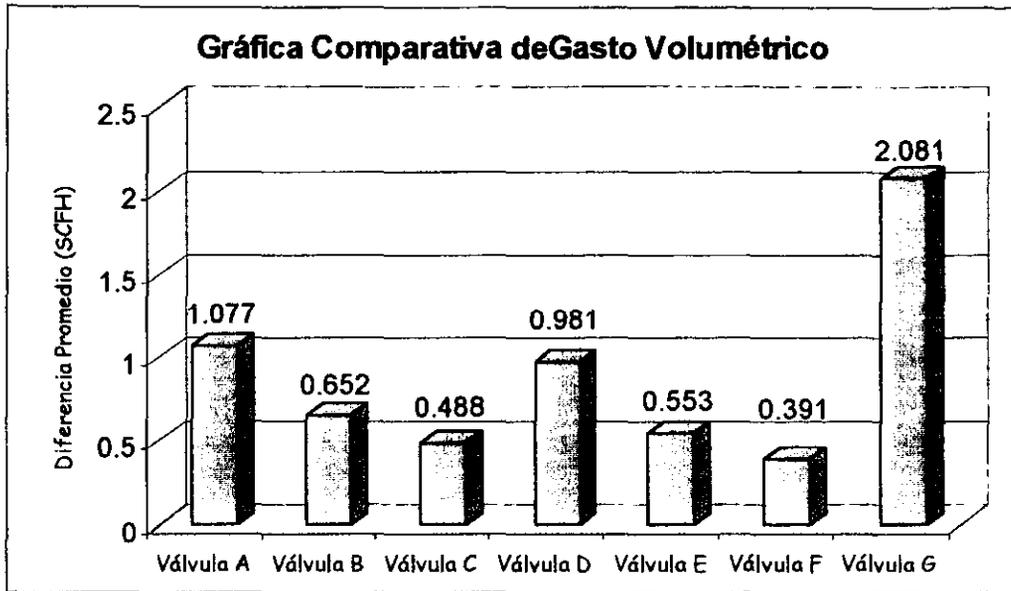


Figura 5.2. Comparación numérica entre válvulas (gasto volumétrico)

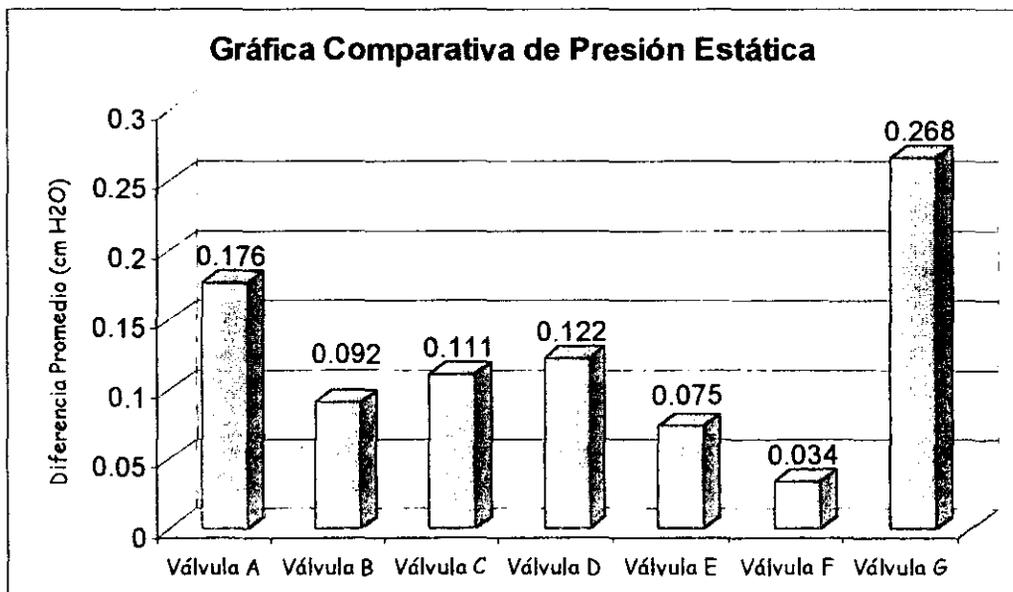


Figura 5.3. Comparación numérica entre válvulas (presión estática)

Como podrá observar el lector la válvula que en promedio tuvo una mayor diferencia tanto en el gasto volumétrico como en presión estática en las figuras 5.2 y 5.3, es la válvula G. La menor diferencia en gasto volumétrico y presión estática la presenta la válvula F.

Existe un error entre la válvula B y C como se puede apreciar en las figuras 5.2 y 5.3, debido a que la diferencia promedio en el gasto volumétrico es mayor en la válvula B que en la C, pero en la diferencia promedio de la presión estática es lo contrario. El número de lecturas en las pruebas de ambas válvulas se presenta en la Tabla 5.1 (datos obtenidos de Tablas 4.1 y 4.2):

Válvulas	No. Lecturas (gasto vol.)	No. Lecturas (presión est.)
Válvula B	9	9
Válvula C	11	13

Tabla 5.1 Número de lecturas de las válvulas B y C.

Se observa en la Tabla 5.1 la diferencia de cuatro lecturas entre la válvula B y la C en la presión estática, afectando la diferencia promedio que se obtuvo, agregando a esto, en la válvula C tuvo dos caídas de presión arriba de 0.20 cm columna de agua en 105° y 135° y finalmente los pequeños errores que se tuvieron al momento de tomar las lecturas de manómetro diferencial. Concluyendo, la válvula C tiene una inyección del gas con cambios suaves en el gasto volumétrico, junto con esto se pueden comparar las gráficas de la válvula B y C en el apéndice E.

Recordando, las válvulas A,B,C y D tienen el mismo principio de funcionamiento de disco ranurado. En este tipo de principio la mejor válvula es la C, por que tienen una diferencia promedio de gasto volumétrico menor. La válvula B es una de las dos válvulas que la empresa nos ofreció para realizar el estudio comparativo, la cual queda en segundo sitio. Si el lector observa en el capítulo 3 la figura 3.8, observará que la configuración física de los discos ranurados de las válvulas B y C, son muy parecidos. La diferencia entre ambos diseños, es que el disco ranurado de la válvula C tiene un ángulo de giro entre el gasto volumétrico máximo (flama máxima) y el mínimo (flama mínima) de 60° a 240° y en la válvula B es de 90° a 240°. Por lo tanto, la válvula C recorre mayor trayectoria reduciendo el gasto volumétrico con cambios pequeños en comparación de la válvula B.

Con respecto a las válvulas F y G tienen el mismo principio de funcionamiento de macho cónico. Por lo que puede ver el lector la mejor de este grupo es la F como se puede ver en las figuras 5.2 y 5.3. En el siguiente tema se compara específicamente el funcionamiento interno de cada una de ellas.

La válvula E es la única con el tipo de funcionamiento helicoidal y ocupa el tercer lugar del grupo de las siete válvulas en la diferencia promedio de gasto volumétrico.

5.2.- Comparación de funcionamiento entre las válvulas F y G.

En este apartado, se estudia en forma detallada los cambios de área al que es sometido el gas conforme cruza por el macho cónico de la válvula F y G, dependiendo del ángulo de giro que el usuario someta a estas. Esto con el fin de obtener información de referencia para hacer cambios en el control en la estrangulación del gasto volumétrico de la válvula G, ya que es la que estaba instalando la empresa en su estufas.

En la figura 5.4 se muestra la válvula F donde se indican tres partes principales para nuestro estudio, donde A es el orificio de la válvula por donde entra el gas, B es el macho cónico y C el cuerpo de la válvula.

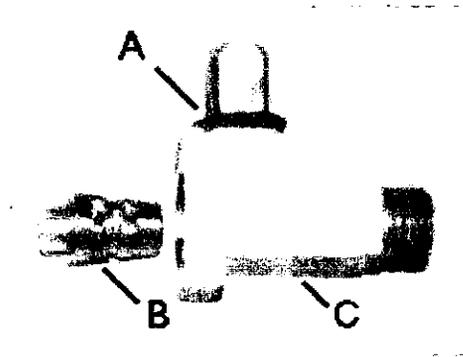


Figura 5.4.- Partes principales de la válvula F.

El análisis que se muestra en las figuras 5.5, 5.6 y 5.7 es para facilitar al lector la comprensión del control del gasto volumétrico en las válvulas. Son una serie de plantillas con la configuración de orificios y ranuras del macho cónico, observándose los cambios de área por donde cruza el gas de forma vertical con respecto a la plantilla conforme se gira la perilla de la válvula F, comenzando desde la posición cerrada, llegando a la máxima flama y por último a la flama mínima.

En la figura 5.5 se presenta una plantilla con los canales y ranuras del macho cónico donde cruza el gas. A la izquierda se muestra el ángulo de giro del macho cónico, indicándonos tres puntos importantes, a 0° de giro la válvula esta cerrada, a 90° de giro es la flama máxima y a 270° de giro es la flama mínima. La flecha indica el sentido del flujo cuando el gas sale del interior del macho cónico una vez que cruza la reducción de área, dándonos la posición en que se encuentra la válvula. El sentido y la dirección del gas se puede apreciar a detalle en capítulo 3 en el tema 3.2. *válvulas de control para estufas domésticas*.

Del lado derecho se designa una letra a cada canal, ranura u orificio que presenta el macho cónico. A continuación se indica el significado de cada letra:

- A : Posición del orificio por donde entra el gas
- B : Orificio del gasto máximo del macho cónico
- C : Canal convergente
- D : Canal para disminución de flama
- E : Orificio para conexión con la válvula de aguja
- F : Superficie a desnivel

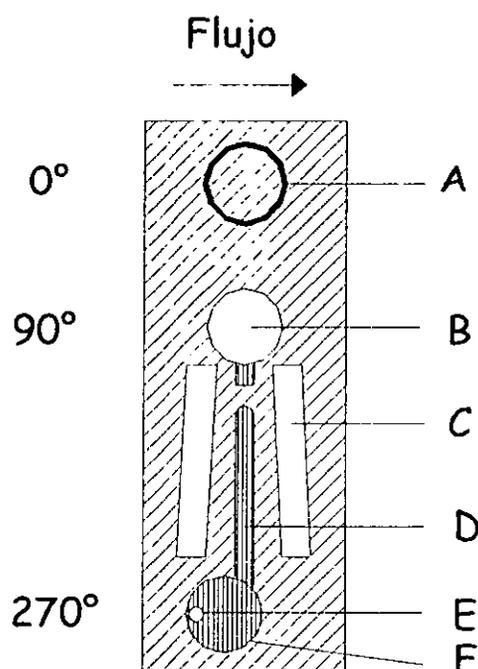


Fig.5.5. Planilla de válvula F a 0° de giro.

En la figura 5.6 se muestran dos posiciones del macho cónico. La primera es a 90° de giro y proporciona el gasto máximo (flama máxima) y la segunda es a 135° de giro, observándose como el gasto volumétrico es dividido por cuatro áreas que son el orificio del gasto máximo del macho cónico, dos canales convergentes y el canal de disminución de flama.

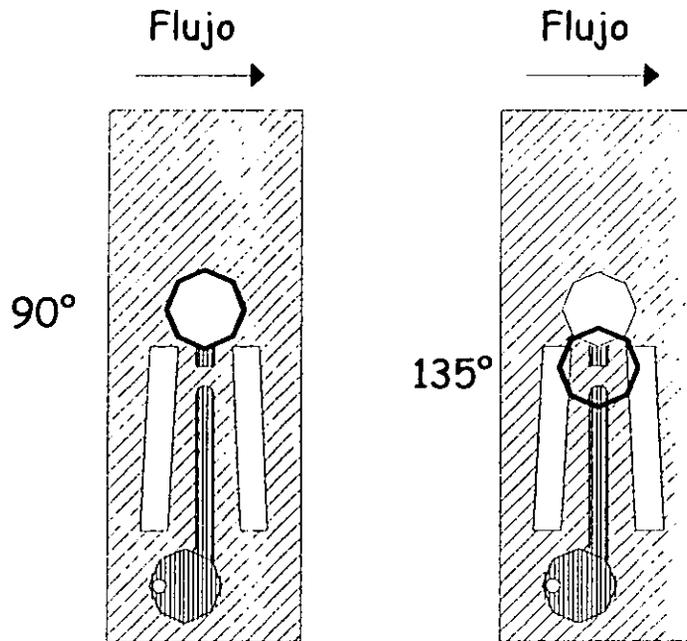


Fig.5.6. Planilla de válvula F de 90° a 135° de giro.

Continuando el giro del macho cónico apartir del ángulo de giro de 150° a 195° el gasto es dividido por tres áreas que son los dos canales convergentes y el canal de disminución de flama. Cabe señalar que el área variable serían los dos canales convergentes y el área del canal de disminución de flama sería constante en el transcurso del giro.

En la figura 5.7 se muestran dos posiciones del macho cónico. La primera es a 210° de giro siendo esta posición el último contacto con los canales convergentes y la segunda con 270° de giro observamos como el gasto volumétrico es el mínimo y se fuerza a pasar por el orificio para conexión con la válvula de aguja. El lector puede observar en ésta última posición, el área del orificio por donde entra el gas no coincide con el orificio para conexión con la válvula de aguja, pero gracias a la superficie en desnivel se comunican los orificios y se evita un choque directo entre estos disminuyendo así la presión total, suavizando el paso del gas.

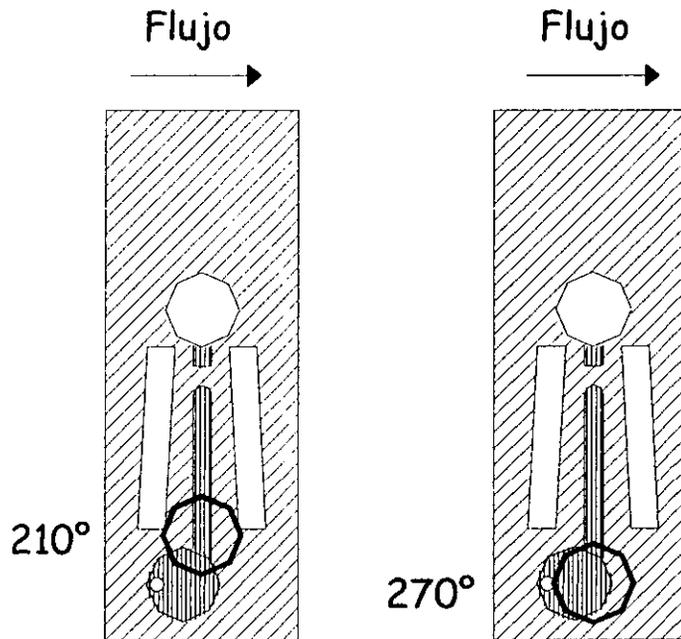


Fig. 5.7. Planilla de válvula F de 210° a 270° de giro.

En la figura 5.8 se muestra un corte transversal del cuerpo de la válvula G donde se indican tres partes principales para nuestro estudio, donde A es la parte superior de la válvula por donde entra el gas, B es el macho cónico y C el cuerpo de la válvula.

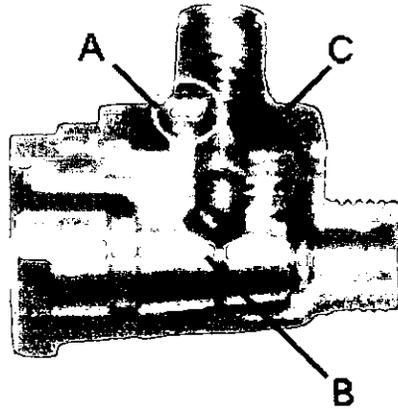


Fig. 5.8. Partes principales de la válvula G .

El análisis que se muestra en las figuras 5.9, 5.10 y 5.11, son una serie de plantillas con la configuración de orificios y ranuras del macho cónico, observándose los cambios de área por donde cruza el gas de forma vertical con respecto a la plantilla conforme se gira la perilla de la válvula G, comenzando desde la posición cerrada, llegando a la máxima flama y por último a la flama mínima.

En la figura 5.9 se presenta una plantilla con los canales y ranuras donde cruza el gas. A la izquierda se muestra el ángulo de giro del macho cónico, indicándonos tres puntos importantes, a 0° de giro la válvula esta cerrada, a 90° de giro es la flama máxima y a 270° de giro es la flama mínima. La flecha indica el sentido del flujo cuando el gas sale del interior del macho cónico una vez que cruza la reducción de área, dándonos la posición en que se encuentra la válvula. Del lado derecho se designa una letra a cada canal, ranura u orificio que presenta el macho cónico. A continuación se indica el significado de cada letra:

- A : Posición del orificio por donde entra el gas
- B : Orificio del gasto máximo del macho cónico
- C : Canal para disminución de flama
- D : Orificio para conexión con la válvula de aguja
- E : Superficie a desnivel

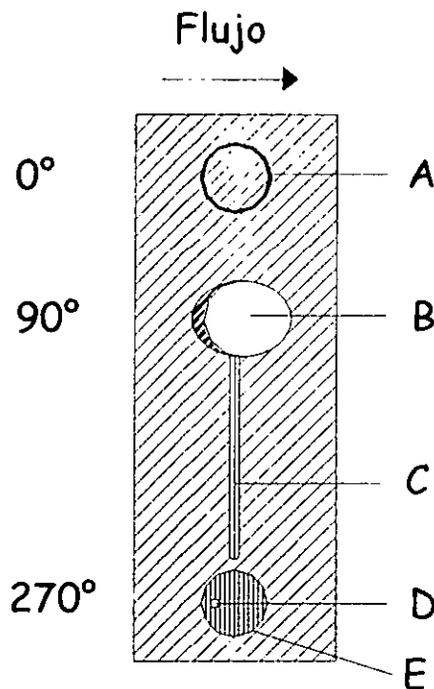


Fig.5.9. Planilla de válvula G a 0° de giro.

En la figura 5.10 se muestran dos posiciones del macho cónico. La primera es a 90° de giro y proporciona el gasto máximo (flama máxima) y la segunda es a 120° observando como el gasto volumétrico disminuye debido a que el área se reduce en el orificio por donde entra en gas conforme el macho cónico gira.

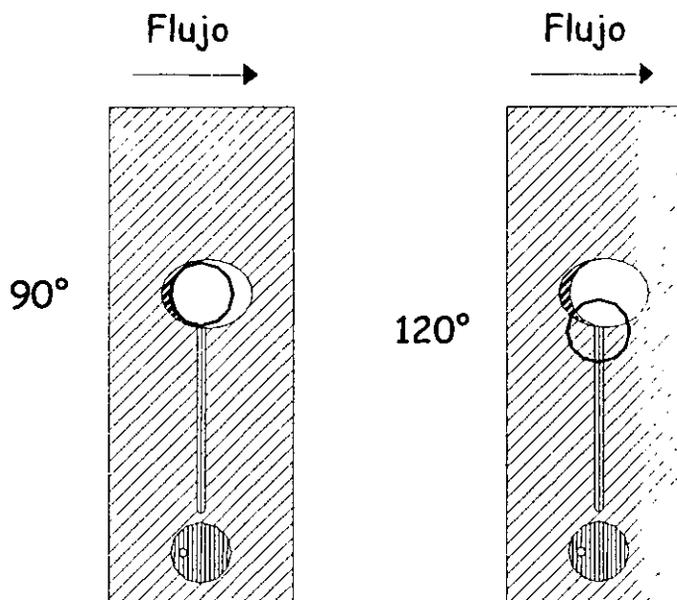


Fig.5.10. Planilla de válvula G de 90° a 120° de giro.

Continuando el giro del macho cónico a partir del ángulo de giro de 135° a 240° el gas es dirigido por el canal de disminución de flama hacia el orificio de gasto máximo del macho cónico. Este canal conforme el macho cónico gira, su profundidad va disminuyendo.

En la figura 5.11 se muestra una posición del macho cónico a 255° de giro, observándose la división del gasto volumétrico por dos áreas que son el canal para disminución de flama y el orificio para conexión con la válvula de aguja, siendo el choque directo del gas en este último orificio, aunque se encuentre la superficie a desnivel.

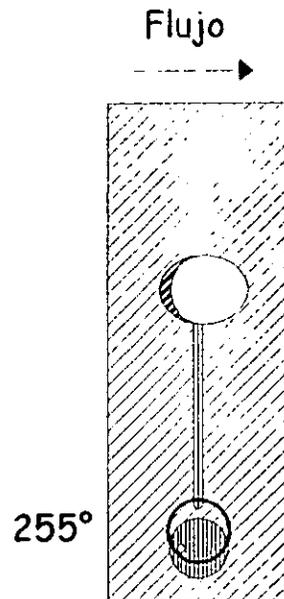


Fig.5.11. Planilla de válvula G a 255° de giro.

Para hacer una comparación numérica del gasto volumétrico entre la válvula G y la válvula F, conforme disminuye el gasto máximo (flama máxima) al gasto mínimo (flama mínima), nos ayudamos de la Tabla 4.1 del capítulo 4, para crear una nueva Tabla 5.2.

	Válvula F	Diferencia	Válvula G	Diferencia
	(SCFH)	(%)	(SCFH)	(%)
GRADOS				
90	23.25		25.33	
105	20.33	12.5	24.67	2.6
120	16.25	17.6	23.08	6.3
135	12.42	16.5	19.33	14.8
150	9.83	11.1	10.75	33.9
165	8.92	3.9	6.67	16.1
180	7.75	5.0	6.17	2.0
195	5.33	10.4	5.67	2.0
210	4	5.7	5.00	2.6
225	3	4.3	7.50	-9.9
240	2	4.3	5.83	6.6
255	2	0.0	3.92	7.6
270	2	0	2.17	6.9
	Total	91.40	Total	91.45

Tabla 5.2 Porcentaje de reducción del gasto volumétrico en la válvula F y válvula G.

En la Tabla 5.2 se muestra el ángulo de giro del vástago de la válvula, las lecturas de gasto volumétrico que se tomaron del banco de pruebas de las válvulas F y G, y el porcentaje del gasto volumétrico total que se inyecta entre cada cambio de ángulo de giro de la válvula. A continuación se muestra la ecuación que se usó para obtener la diferencia porcentual entre cada cambio de ángulo:

$$\text{Diferencia Porcentual} = ((GA-GP) / GT) * 100\%$$

GA : Gasto volumétrico anterior

GP : Gasto volumétrico posterior

GT : Gasto volumétrico máximo

Ejemplo: De la válvula G entre 150⁰ y 135⁰ de ángulo de giro.

$$\text{Diferencia Porcentual} = ((19.33 - 10.75) / 25.33) * 100 \%$$

Como se puede apreciar en la Tabla 5.2, de 90° a 150° de giro la válvula F reduce el gasto volumétrico total a 57.2 % y la G a 57.6 %, pero la diferencia es que la válvula F tiene una disminución de gasto volumétrico relativamente parecida entre los cambios de ángulo de giro; mientras que la válvula G hace una disminución pequeña entre 90⁰ y 135⁰ de 23.7 % del gasto volumétrico máximo. Siendo el punto crítico entre 135⁰ y 150⁰ por reducir a un 33.9 % del gasto volumétrico máximo. Esto último se debe a una reducción de área muy grande, ya que el gas pasa por el orificio del gasto máximo del macho cónico de la válvula G. Esto se puede apreciar con más detalle en la figura 5.10, a 120⁰ de ángulo de giro del vástago de la válvula.

La siguiente etapa de giro es de 165⁰ a 210⁰, en la válvula F hace reducciones pequeñas de un 25% en gasto volumétrico total como se muestra en la Tabla 5.2, siendo el único punto donde se dispara entre 180⁰ y 195⁰ por que los canales convergentes reducen su área por donde pasa el gas como se muestra en la figura 5.7. En la válvula G reduce su gasto volumétrico total un 22.7 %, siendo menor a comparación de la válvula F debido a que el gas es regulado por el canal para disminución de flama.

La última etapa de giro de 225° a 270°, en la válvula F se reduce el gasto volumétrico total un 8.6%, sin presentar cambios de gasto apartir de 240°. En la válvula G existe un punto crítico a 225° de giro debido a que existe un aumento de gasto volumétrico total de 9.9 % y esto se debe a que el gas se divide en dos partes, una parte se dirige hacia el canal para disminución de flama que desemboca al orificio del gasto máximo del macho cónico y otra parte del gas se dirige hacia el orificio para conexión a la válvula de aguja, apreciandose en la figura 5.11. La válvula G reduce el gasto volumétrico total 21.1 % en esta última etapa.

Concluyendo, la reducción del gasto volumétrico del gas L.P. se va realizando gradualmente para hacer de manera suave la caída de presión manométrica como se puede apreciar en la curva característica real de presión estática de la válvula F.

Capítulo 6.-Conclusiones y trabajo futuro.

6.-Conclusiones y trabajo futuro

Del trabajo reportado en esta tesis se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. El desarrollo del trabajo de investigación tanto teórico como práctico, ayudó a obtener una solución al problema del control de flama de una estufa doméstica, encontrando que el problema radica en la variación del área conforme el gas se inyecta hacia el quemador. Ya que se conoce este detalle, se busca la mejor válvula (válvula F) de la muestra de siete válvulas que existen en el mercado comercial y a partir de este resultado se realizan propuestas para la modificación de la estrangulación del gas en la válvula actual (válvula G) que está instalando la empresa que solicitó el estudio.
2. Con respecto al control de la flama, los elementos que están conectados después de la válvula dentro de la estufa son: la esprea, el venturi y el quemador como se aprecia en el capítulo 1 en la figura 1.4. Son piezas fundamentales para tener una buena calidad en la flama, así como el color, el tamaño y la eficiencia de la combustión que realiza ésta. Estos elementos deben estar concéntricos para que el flujo, que es el gas L.P., tome una dirección perpendicular y choque correctamente en el quemador, proporcionando una flama estable sin distorsión para que realice una combustión completa. En la planta donde se ensamblan este tipo de enser doméstico sería difícil y costoso conseguir lo antes mencionado, entonces la propuesta que se tiene es que se fabriquen estas tres piezas en una sola.
3. El banco de pruebas que se montó para llevar a cabo el análisis de cada una de las siete válvulas, tomó en cuenta como única variable el *ángulo de giro del vástago de la válvula* controlando de esta forma el paso del aire (fluido usado en las pruebas) o gas L.P., entonces el *gasto volumétrico* y la *presión estática* son función de esa variable, ambas son inversamente proporcionales entre sí, proporcionan una gráfica del comportamiento visual y cuantitativo de la flama del quemador en una estufa doméstica de forma más detallada sin necesidad de recurrir a otro medio de estudio visual más costoso y laborioso como, sensores inflarros que nos permiten actualmente observar y determinar la cantidad de calor que está emitiendo esa flama con ayuda de software y una tarjeta de interface para computadora, siendo esto a nivel industrial una práctica común. Esta es una de las razones por la cual se recurrió a este tipo de análisis para llegar a una conclusión coherente y a nuestro alcance. Otras variables que se tomaron en cuenta fueron la *temperatura ambiental* y la *presión atmosférica* en el lugar donde se llevaban a cabo las pruebas pero sin que estos datos afectaran de forma drástica los valores obtenidos en el banco de pruebas.
4. Otro punto de importancia es la seguridad en el *sistema de combustión de la estufa doméstica* que se le proporciona al usuario, ya que desde la planta de ensamble se sigue un procedimiento sencillo pero que nos garantiza que no se tendrán fugas en el sistema. Este consiste, que al distribuidor o manífull de la estufa doméstica junto con las válvulas se les inyecta aire comprimido para observar la caída de presión conforme la norma lo marca. El problema existe cuando el usuario tiene la estufa doméstica en sus

manos y trata de conectar la estufa al tanque de gas L.P., ya que en el mercado comercial existen una variedad de conexiones de todo tipo de material que no se encuentran bajo norma poniendo en riesgo al usuario.

5. En el rediseño de la válvula G se tienen varias opciones, si se requiere de un cambio a corto plazo sin que afectará fuertemente la línea de producción, se tendría que retomar la gráfica de ángulo de giro del vástago de la válvula contra el gasto volumétrico de la válvula G, de forma experimental se tendrían que realizar diferentes modelos tratando de ajustar los gastos que nos marca la curva ajustada que se obtuvo con el ajuste de los mínimos cuadrados. Ahora tomando la experiencia que se presenta en la válvula F en la gráfica real y la curva ajustada de ángulo de giro del vástago de la válvula contra el gasto volumétrico, existe muy poca diferencia, el aire o gas L.P. lo estrangulan de una forma suave, dividiendo el flujo en diferentes etapas como son : la flama máxima un solo orificio, la regulación entre la flama máxima y la mínima se usan cuatro y tres ductos, y por último la flama mínima un solo ducto.
6. Con respecto a la válvula E, presenta un aumento del gasto volumétrico conforme el ángulo de giro de la válvula se dirige hacia la flama máxima como se aprecia en las figuras E.9 y E.10. del apéndice E. La curva real tanto del gasto volumétrico como de la presión estática tiende a comportarse como una línea recta. Observando la descripción que se hace del tipo de funcionamiento helicoidal en capítulo 3 de las figuras 3.13, 3.14 y 3.15., donde el cilindro se va deslizando linealmente conforme se gira el vástago de la válvula haciendo reducciones de gasto volumétrico muy suave y al último fuerza al gas a pasar por un pequeño orificio que tiene el mismo cilindro. De las siete válvulas es la que ocupa un segundo lugar en eficiencia de inyección del gas entre la flama máxima y la mínima. Siendo este un tipo de funcionamiento eficiente y con un menor número de piezas que tienen un nivel de acabado menor a diferencia de la válvula F.
7. El estudio que se desarrolló en la tesis fue con el fin de encontrar el error mecánico que existía en la válvula G de la empresa que solicitó el estudio, corrigiendo este punto, el siguiente paso sería comenzar a desarrollar el control inteligente de la válvula por medio de algún cerebro electrónico. Este cerebro tendría que tener la capacidad de tener entradas analógicas y digitales como salidas analógicas y digitales siendo esto común en controladores de proceso.

Bibliografia.

Bibliografía.

Deutsch, Irving, 1972, Tecnología del gas para ingenieros y abogados,
Barcelona, Editorial Blume

Hutchison, J.W., 1976,ISA Handbook of Control Valves,
Research Triangle Park, North Carolina

Johnson,Allen Jaquith, 1951, Fuels and Combustion Handbook,
McGraw Hill, New York

Zappe, R.W., 1991, Valve Selection Handbook,
Gulf : Plant Engineering, Houston

Blumenkron G., Fernando F. ,Manejo y uso del Gas Licuado de Petróleo y Natural

Chavez, Demetrio Rodriguez, Valoración Tecnológica del Petróleo Crudo y sus Productos,
ESIQUE, IPN

Miller, Irwin, 1986, Probabilidad y Estadística para Ingenieros,
Prentice Hall, México

Bernard, C.J., 1988, Handbook of Fluid Flowmetering
Trade and Technical, England

Collett, Charles Vincent, 1976, Mediciones en Ingeniería,
G-gili, Barcelona

21 st Annual ISA Conference Proceedings – Vol. 21, 1966, New York, October 24-27,1966
Pittsburgh, Pennsylvania: Instrument Society or America, c. 1966.

Dally, James W., 1993, Instrumentation for Engineering Measurements,
J.Wiley, New York

Greene, Richard W, 1987, Válvulas, selección, uso y mantenimiento, McGrawHill, México

Pons Mestre, Fernando, 1993 ,Trabajo monográfico : Selección y especificación de válvulas de control, Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM.

NOM-023-SCFI-1993

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial

Norma Oficial Mexicana

Aparatos domésticos para cocinar alimentos que utilizan gas natural o L.P.-
Especificaciones y métodos de prueba.

NOM-018/2-SCFI-1993

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial

Norma Oficial Mexicana

Recipientes portátiles para contener gas L.P.- Válvulas.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Apéndices

Apéndice A

Tabla A.1. Tipos y aplicaciones de válvulas

Tipo de Válvula	Componentes	Aplicación
Compuerta	Volante, vástago, bonete, compuerta, asientos, Cuerpo.	Servicios en donde se requiera circulación ininterrumpida y poca caída de presión.
Globo	Volante, vástago, bonete, asientos, discos, cuerpo.	Se usa para cortar o regular el flujo del líquido. Los servicios incluyen para uso frecuente, estrangulación al grado deseado de cualquier flujo, cierre positivo para gases y aire, alta resistencia, caída de presión tolerable.
Mariposa	Eje (flecha), disco de control de flujo y el cuerpo.	El uso principal es para servicio de corte y de estrangulación cuando se manejen grandes volúmenes de gases y líquidos a presiones relativamente bajas. Los servicios incluyen apertura total, cierre total o estrangulación, operación frecuente, cierre positivo para gases o líquidos y baja caída de presión.
Macho	Cuerpo, macho, tapa.	Servicio de corte y sin estrangulación. Es de acción rápida, operación sencilla, espacio mínimo para instalación, cierre hermético cuando se tiene macho cónico, mínima resistencia al flujo, sirve para operación frecuente y tienen poca caída de presión.
Bola	Cuerpo, asiento, bola.	Servicio de corte y no son satisfactorias para estrangulación. Son rápidas para operarlas, de fácil mantenimiento, no requieren lubricación, cierre hermético con baja torsión y su caída de presión está en función del tamaño del orificio. Se pueden emplear para vapor, agua, aceite, gas, aire, fluidos corrosivos, pastas aguadas y materiales pulverizados secos.
Aguja	Cuerpo, macho, tapa.	Se logra estrangulación exacta de volúmenes pequeños debido al orificio variable que se forma entre el macho cónico y su asiento también cónico. Se utilizan como válvulas para instrumentos o en sistemas hidráulicos, aunque no para altas temperaturas.

Angulo	Vástago, disco, anillos.	Servicio de estrangulación y presentan mínima resistencia al flujo.
Compresión	Cuerpo, mecanismo, opresor.	Se utilizan para servicio de corte o de estrangulación, con bajo costo de mantenimiento, poca caída de presión para temperaturas moderadas y para paso de pastas aguadas. No se recomienda para servicio al vacío intenso, ya que se puede colapsar el tubo flexible.
Corredera	Discos, asientos, cuerpo.	Se utilizan para controlar líquidos y gases a baja presión que tienen un alto contenido de sólidos, pulpa de papel o materiales granulados de libre fluidez.
Diafragma	Cuerpo, bonete, diafragma flexible.	Se utilizan en servicios para corte y estrangulación, se usa para bajas presiones y con pastas aguadas que obstruirían o corroerían las piezas funcionales de la mayor parte de otros tipos de válvula, esto es porque éste aísla el líquido que se maneja del mecanismo de operación.
Y	Vástago, disco, anillo de asiento.	Similar a la válvula globo, pero el orificio para el asiento está a un ángulo de 45 ° con el sentido de flujo, por lo tanto, se obtiene una trayectoria más lisa y hay menor caída de presión y tiene buena capacidad de estrangulación.
Retención (check)	Cuerpo, disco, pasador oscilante, tapa.	Se destinan a impedir la inversión de flujo en una tubería, ya que el fluido circulante abre la válvula; el peso del mecanismo de retención y cualquier inversión en el flujo la cierran.

Apéndice B

Métodos de selección para válvulas comerciales

Aquí se presentan de forma general dos métodos que se utiliza para escoger el tipo de válvula que se requiera dependiendo de las necesidades del proceso.

Para dimensionar una válvula existen diferentes métodos que se basan en una misma teoría, estas dos teorías para gases son el método ISA/ANSI y el método FISHER (*Pons Mestre, Fernando, 1993, Trabajo Monográfico: Selección y especificación de válvulas de control, Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM*) para dimensionar válvulas.

Fluidos complesibles o gases:

Los fabricantes y usuarios de válvulas al observar que las válvulas de control funcionaban muy bien con líquidos, empezaron a utilizar la ecuación básica de dimensionamiento de líquidos a fluidos compresibles. El resultado no fue muy bueno por lo que tuvieron que realizar modificaciones a la ecuación.

Para poder utilizar la ecuación de flujo de líquidos para gases son necesarias dos modificaciones. En primera se introduce un factor de conversión para cambiar las unidades de flujo de galones por minuto (GPM) a pies cúbicos standard por hora (SCFH).

La segunda modificación consiste en relacionar los cambios de densidad en función de la presión y la temperatura.

Aplicando estas modificaciones obtenemos la ecuación básica para dimensionar válvulas para gases:

$$Q_{scfh} = 59.64 C_v P_1 (\Delta P / P_1)^{1/2} (520 / G T)^{1/2}$$

En donde

Q_{scfh} : Flujo volumétrico en pies cúbicos standard por hora

C_v : Coeficiente de flujo de la válvula

P_1 : Presión de entrada a la válvula

ΔP : Caída de presión a través de la válvula

G : Gravedad específica del fluido

T : Temperatura de operación en la válvula

El factor 520 es el producto de la gravedad específica y la temperatura del aire a condiciones standares ($T = 520^\circ R$, $G = 1$).

Tomando en cuenta los siguientes factores se desarrollaron los dos métodos antes mencionados:

- La compresibilidad , debido a altas caídas de presión por ser el gas un fluido compresible.
- El flujo crítico, cuando el gas alcanza una velocidad sónica en la vena contracta dentro de la válvula y alcanza un límite.
- Tipo de válvula.

Se desarrollaron ecuaciones para poder predecir el flujo para cualquier caída de presión. En el caso de Fisher es la ecuación universal para el dimensionamiento de los gases y en el caso de ANSI / ISA es una ecuación general. A continuación se presentan como obtener los coeficientes de flujo de la válvula que se desee desarrollar y a partir de este valor se busca en serie de tablas que cada método desarrollo donde se indica el tamaño de válvula que se requiere:

Método Fisher (*Pons Mestre, F, 1993. Trabajo Monográfico: Selección y especificación de válvulas de control, Pag. 163-179, Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM*)

$$C_g = Q / ((520 / GT)^{1/2} P_1 \text{ Sen } ((3417 / C_1)(\Delta P / P_1)^{1/2}))$$

Condiciones de proceso :

- Flujo volumétrico en pies cúbicos standares por hora (Q)
- Presión de entrada absoluta en psia (P₁)
- Presión de salida absoluta en psia (P₂) o la caída de presión (ΔP)
- Gravedad específica del fluido (G)
- Temperatura (T)
- C₁ : Coeficiente de recuperación de la válvula para gases

Nota : El valor de ((3417 / C₁) (ΔP / P₁)^{1/2})Deg) no debe ser mayor a 90 grados, ya que a 90 grados es cuando se presenta la condición de flujo critico. Al presentarse éste ya no tenemos un aumento en el flujo al aumentar la caída de presión.

Por lo tanto si tenemos un valor arriba de 90 grados el valor del seno de ((3417 / C₁) (ΔP / P₁)^{1/2})Degree) será limitado a 1.

Método ANSI / ISA (*Pons Mestre, F. 1993, Trabajo Monográfico: Selección y especificación de válvulas de control, pag. 138-162, Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM*)

$$C_v = q / (N_7 F_p P_1 Y (X / G_g T Z)^{1/2})$$

Condiciones de proceso :

- Flujo volumétrico (q) o flujo másico (w)
- Presión de entrada (P1)
- Presión de salida (P2) o caída de presión (ΔP)
- Temperatura (T)
- Gravedad específica del gas (Gg) o peso molecular del gas (M) o el peso específico a las condiciones de entrada (γ_1)
- Factor N_7 que se usa en el caso que se use la gravedad específica del gas (N_7)
- El factor geométrico depende del tipo de conectores que existen entre la válvula y la tubería por lo que el tipo de fluido no influye en su cálculo (F_p).
- El factor de expansión nos dice que tan comprimido se encuentra el fluido (Y).
- Factor de compresibilidad (Z)
- Relación de caída de presión $(\Delta P / P_1) = (X)$

Apéndice C

Despiece de cinco válvulas comerciales para estufa doméstica

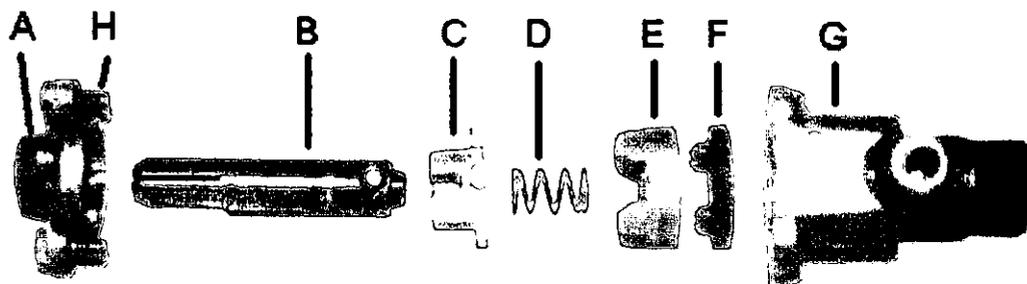


Figura C.1. Despiece de válvula A

Como se aprecia en la figura C.1., las diferentes piezas que integran la válvula A son :

- A. Tapa de la válvula
- B. Vástago de la válvula donde se coloca la perilla
- C. Disco acoplador de vástago y disco ranurado
- D. Resorte
- E. Disco ranurado regulador
- F. Junta de neopreno
- G. Cuerpo de la válvula
- H. Tornillo (dos piezas)

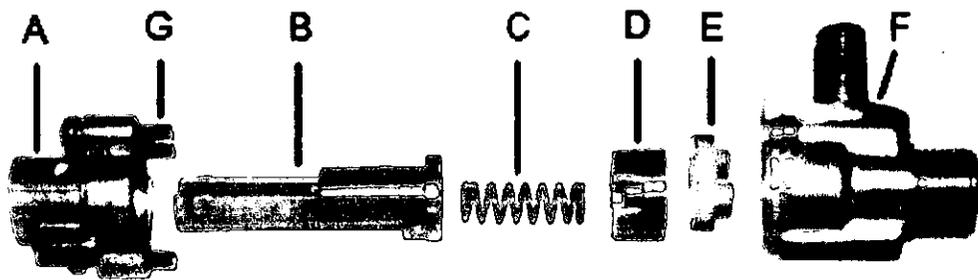


Figura C.2 Despiece de válvula B

Como se aprecia en la figura C.2., las diferentes piezas que integran la válvula B son :

- A. Tapa de la válvula
- B. Vástago de la válvula donde se coloca la perilla
- C. Resorte
- D. Disco ranurado regulador
- E. Junta de neopreno
- F. Cuerpo de la válvula
- G. Tornillo (dos piezas)

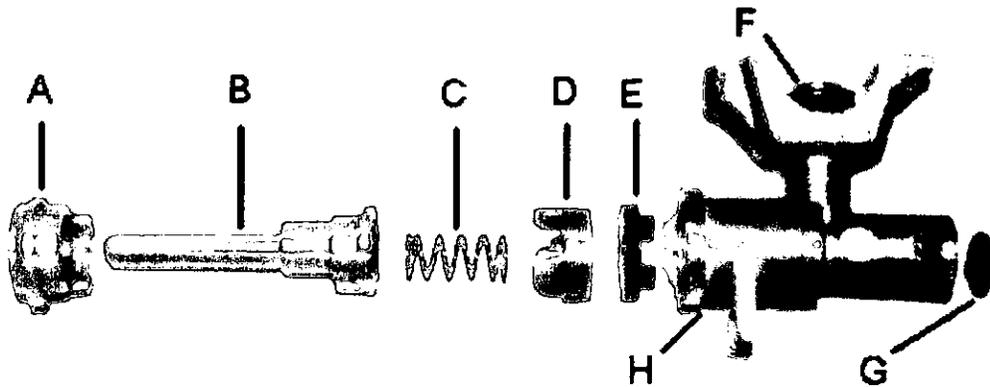


Figura C.3. Despiece de válvula D

Como se aprecia en la figura C.3., las diferentes piezas que integran la válvula D son :

- A. Tapa de la válvula
- B. Vástago de la válvula donde se coloca la perilla
- C. Resorte
- D. Disco ranurado regulador
- E. Junta de neopreno
- F. O'ring de neopreno
- G. O'ring de neopreno
- H. Cuerpo de la válvula

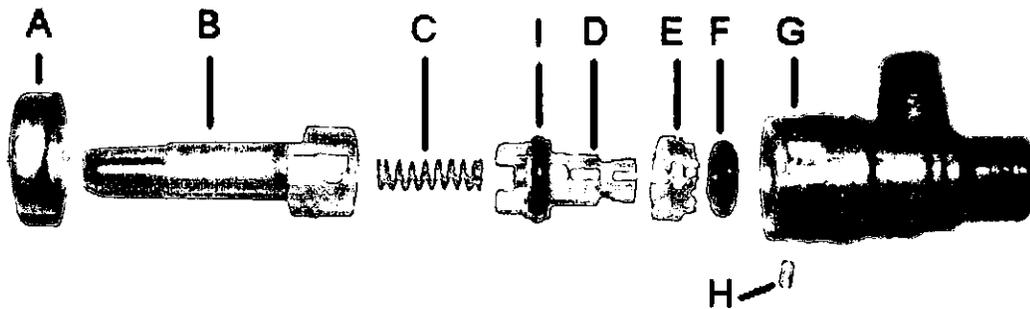


Figura C.4 Despiece de válvula E

Como se aprecia en la figura C.4., las diferentes piezas que integran la válvula E son :

- A. Tapa de la válvula
- B. Vástago de la válvula donde se coloca la perilla
- C. Resorte
- D. Cilindro regulador
- E. Arillo helicoidal
- F. O'ring de neopreno
- G. Cuerpo de la válvula
- H. Perno guía
- I. O'ring de neopreno

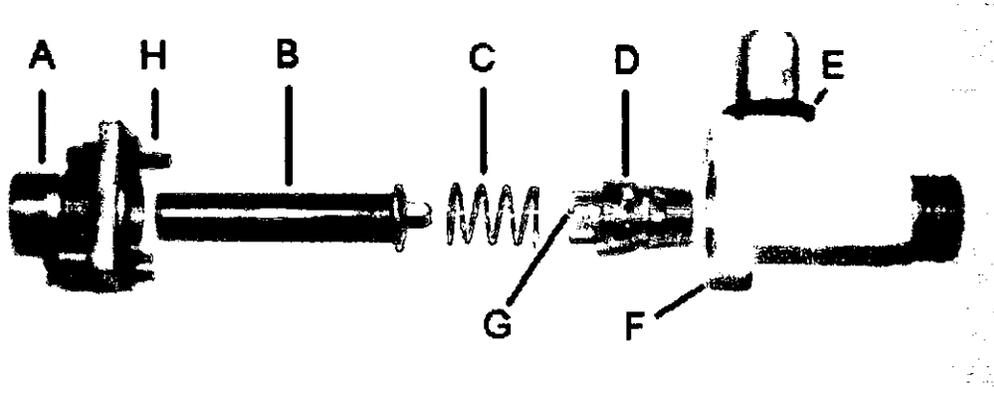


Figura C.5. Despiece de válvula F

Como se aprecia en la figura C.5., las diferentes piezas que integran la válvula F son :

- A. Tapa de la válvula
- B. Vástago de la válvula donde se coloca la perilla
- C. Resorte
- D. Macho cónico
- E. O'ring de neopreno
- F. Cuerpo de la válvula
- G. Válvula de aguja (injertada en el macho cónico)
- H. Tornillo (dos piezas)

Apéndice D

Curvas características de gasto volumétrico y presión estática.

Se presentan a continuación las gráficas que se obtuvieron a partir de las lecturas que se tomaron del banco de pruebas tanto del gasto volumétrico como de la presión estática de las siete válvulas.

La escala de la presión estática se presenta a la izquierda en unidades de cm. de columna de agua y a la derecha la escala del gasto volumétrico en unidades de Standard Cubic Foot per Hour (SCFH).

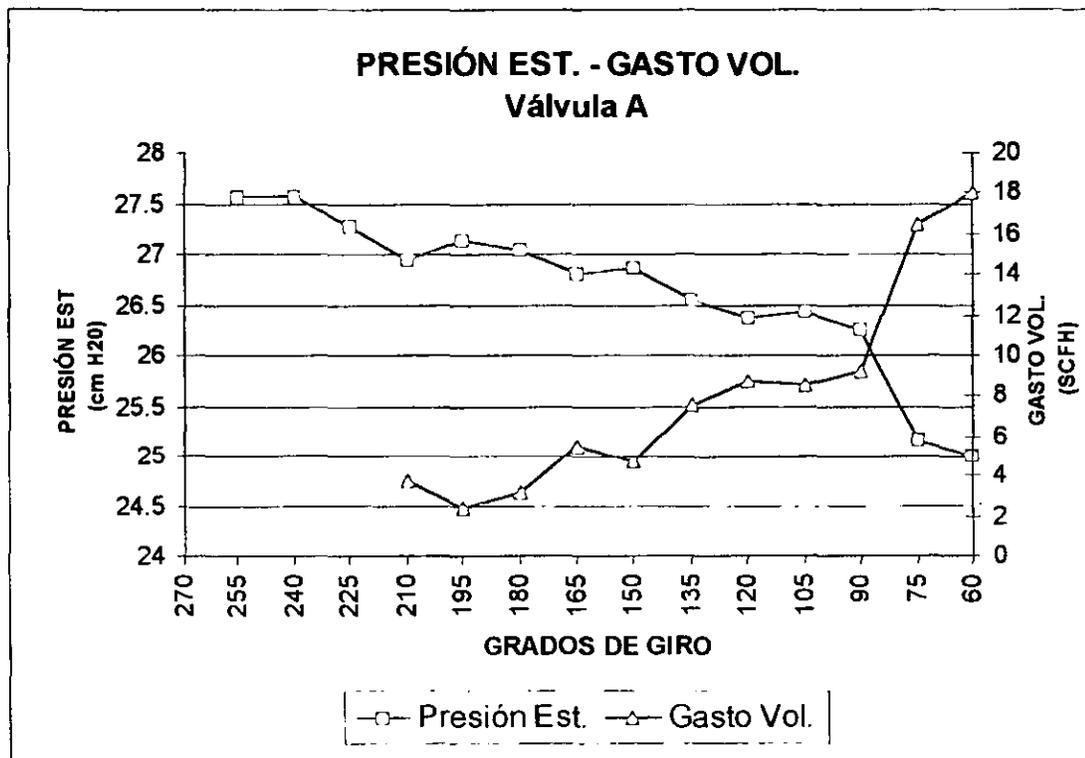


Figura D.1. Gasto volumétrico y presión estática real de válvula A

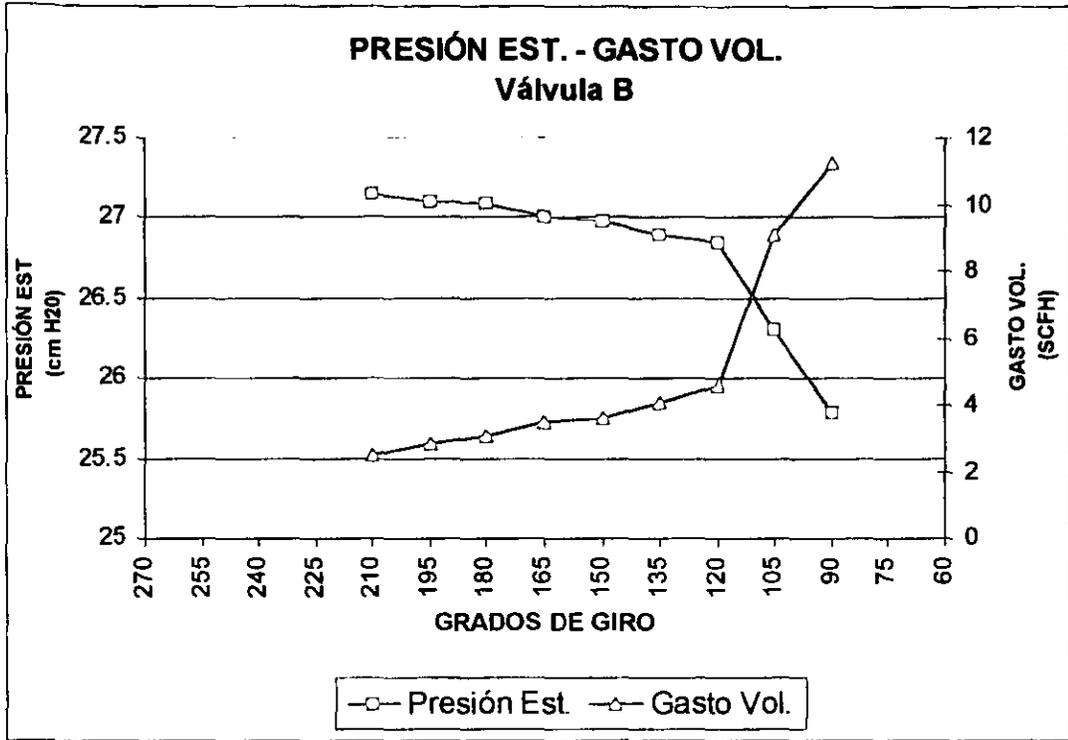


Figura D.2. Gasto volumétrico y presión estática real de válvula B

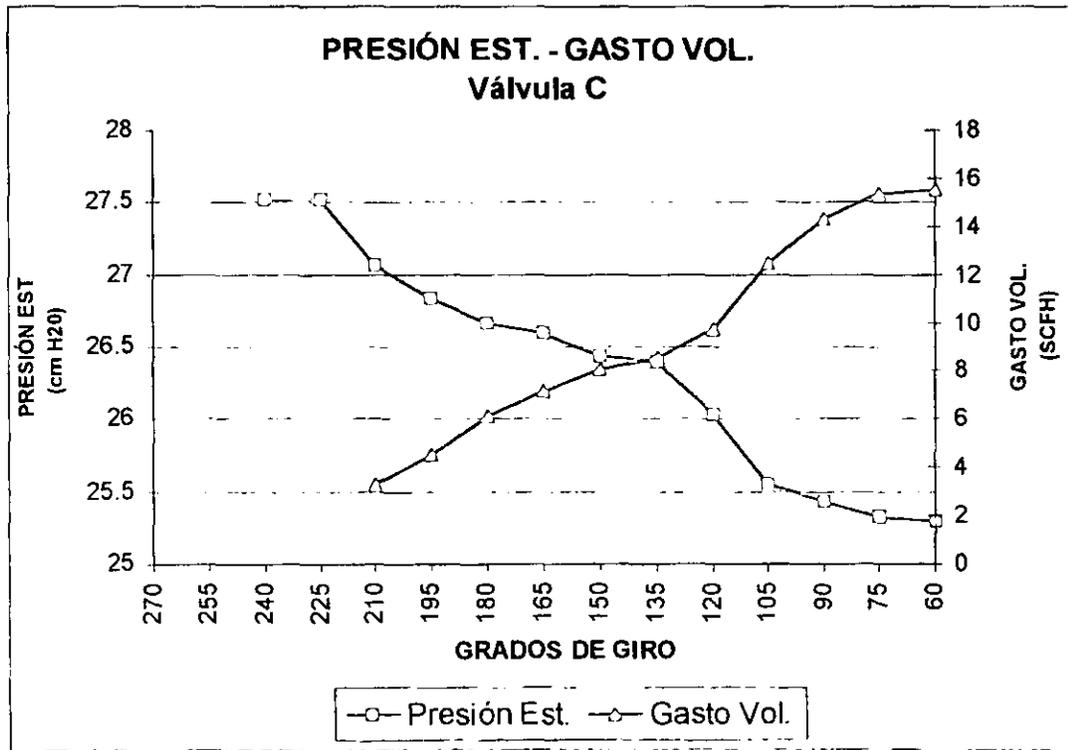


Figura D.3. Gasto volumétrico y presión estática real de válvula C

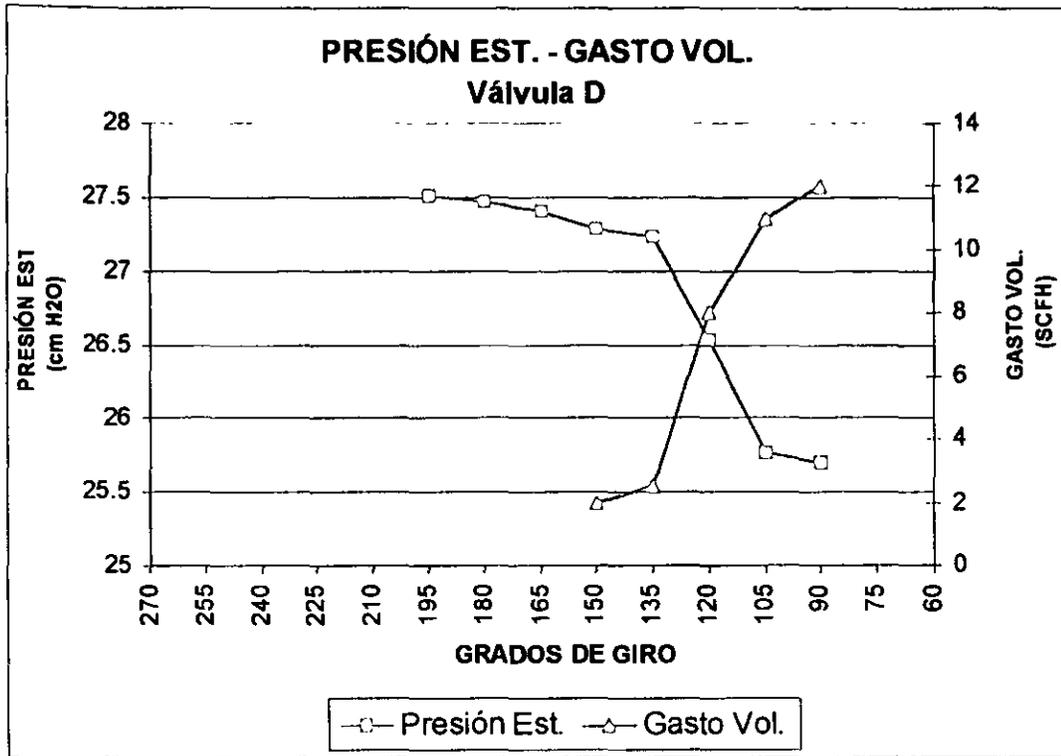


Figura D.4. Gasto volumétrico y presión estática real de válvula D

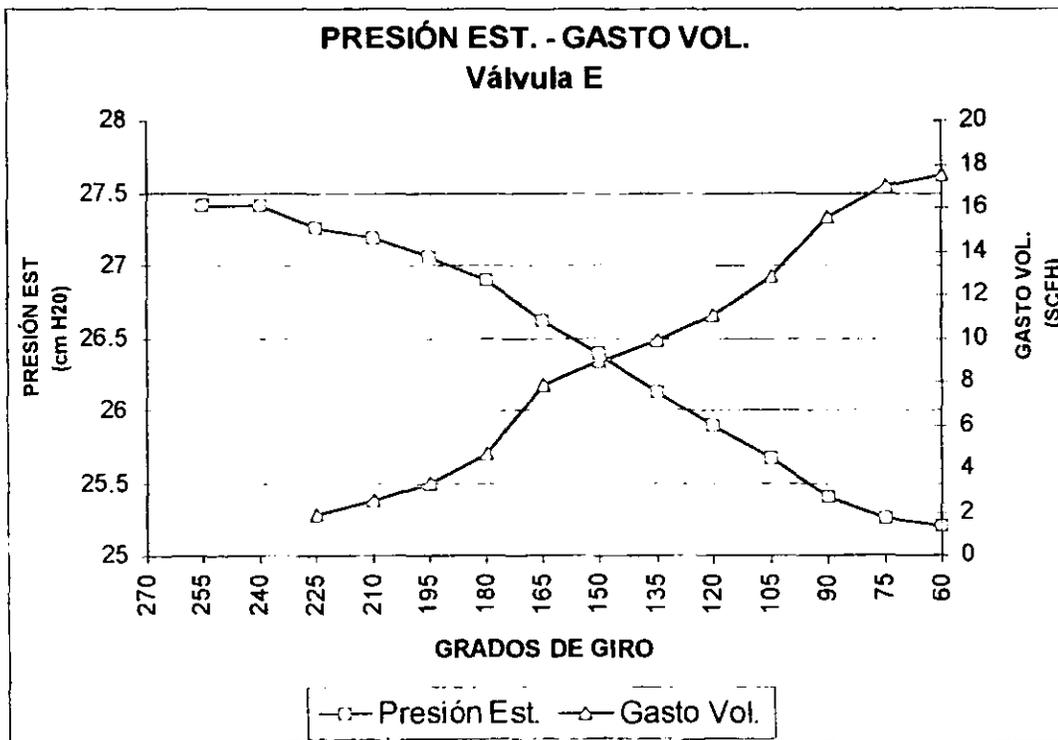


Figura D.5. Gasto volumétrico y presión estática real de válvula E

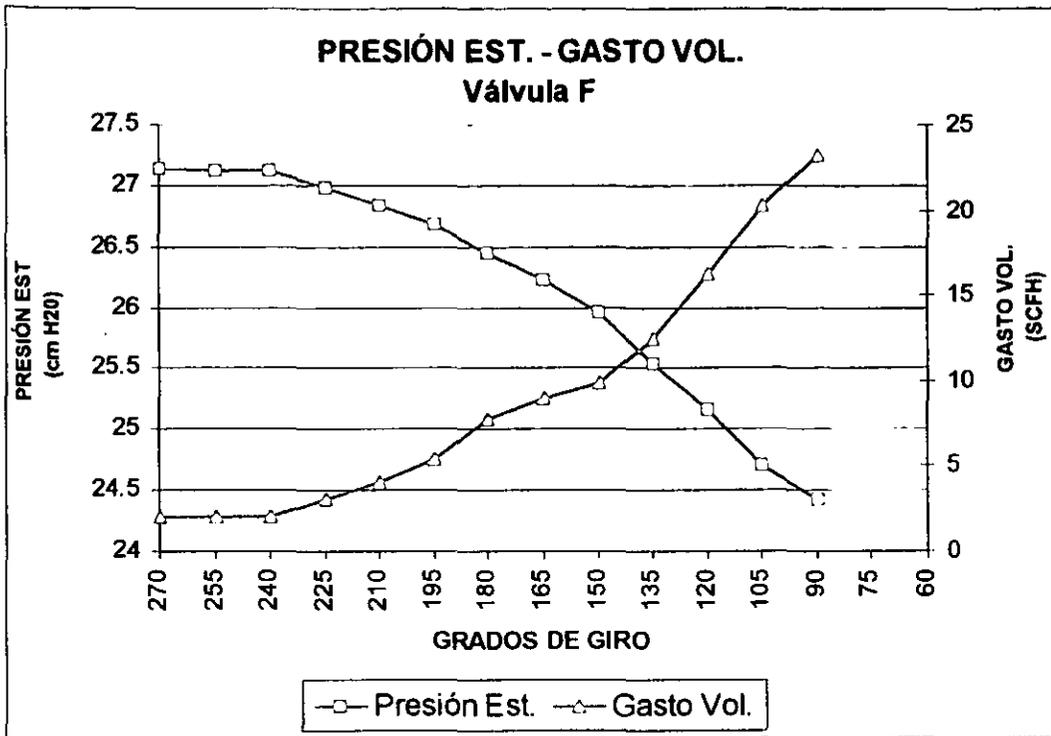


Figura D.6. Gasto volumétrico y presión estática real de válvula F

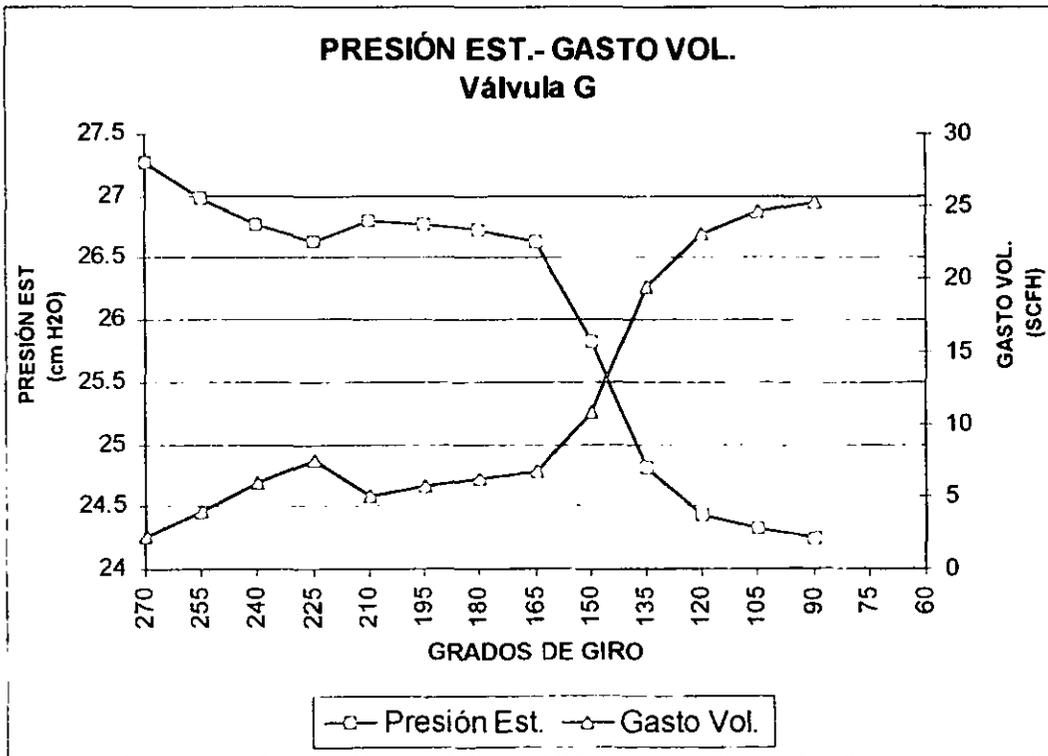


Figura D.7. Gasto volumétrico y presión estática real de válvula G

Apéndice E**Ecuaciones de 2do. grado y curvas de ajuste de gasto volumétrico y presión estática.**

Ecuaciones de segundo grado obtenidas a partir de mínimos cuadrados:

Válvula A (gasto volumétrico)

$$y = 32.9701 - (0.3001)x + (7.6016 \times 10^{-4})x^2$$

Válvula A (presión estática)

$$y = 23.595 + (2.9955 \times 10^{-2})x - (5.8846 \times 10^{-5})x^2$$

Válvula B (gasto volumétrico)

$$y = 35.34855 - (0.36154)x + (9.92788 \times 10^{-4})x^2$$

Válvula B (presión estática)

$$y = 22.1983 + (0.05494)x - (1.51826 \times 10^{-4})x^2$$

Válvula C (gasto volumétrico)

$$y = 22.64614 - (0.111892)x + (9.7543 \times 10^{-5})x^2$$

Válvula C (presión estática)

$$y = 24.382 + (0.01308)x + (5.25 \times 10^{-7})x^2$$

Válvula D (gasto volumétrico)

$$y = 23.92142 - (0.087142)x - (4.2857 \times 10^{-4})x^2$$

Válvula D (presión estática)

$$y = 19.79406 + (0.08405)x - (2.2845 \times 10^{-4})x^2$$

Válvula E (gasto volumétrico)

$$y = 25.41344 - (0.125162)x + (7.908757 \times 10^{-5})x^2$$

Válvula E (presión estática)

$$y = 23.884351 + (2.02256 \times 10^{-2})x - (2.31595 \times 10^{-5})x^2$$

Válvula F (gasto volumétrico)

$$y = 50.9822 - (0.3743)x + (7.1449 \times 10^{-4})x^2$$

Válvula F (presión estática)

$$y = 20.8055 + (4.7121 \times 10^{-2})x - (8.7423 \times 10^{-5})x^2$$

Válvula G (gasto volumétrico)

$$y = 62.4232 - (0.4701)x + (9.4050 \times 10^{-4})x^2$$

Válvula G (presión estática)

$$y = 19.5480 + (5.80807 \times 10^{-4})x - (1.1219 \times 10^{-4})x^2$$

Tablas de los valores obtenidos a partir de la ecuaciones antes mencionadas para obtener el gasto volumétrico ajustado y la presión estática ajustada:

	Válvula A	Válvula B	Válvula C	Válvula D	Válvula E	Válvula F	Válvula G
	Gasto A.						
GRADOS	SCFH						
270						2.0075	4.0586
255						1.9954	3.7037
240						2.3048	3.7720
225					1.2558	2.9358	4.2635
210	3.4722	3.2071	3.4505		2.6172	3.8882	5.1783
195	3.3557	2.5990	4.5363		4.0142	5.1622	6.5162
180	3.5813	2.4377	5.6660		5.4467	6.7577	8.2774
165	4.1490	2.7231	6.8396		6.9149	8.6747	10.4618
150	5.0587	3.4553	8.0571	1.2073	8.4186	10.9132	13.0695
135	6.3105	4.6342	9.3184	4.3466	9.9579	13.4733	16.1003
120	7.9044	6.2599	10.6237	7.2930	11.5329	16.3549	19.5544
105	9.8404	8.3323	11.9729	10.0465	13.1434	19.5580	23.4317
90	12.1184	10.8515	13.3660	12.6072	14.7895	23.0826	27.7323
75	14.7385		14.8029		16.4712		
60	17.7007		16.2838		18.1884		

Gasto A. : Gasto volumétrico obtenido por curva de ajuste por mínimos cuadrados.

SCFH : Standard cubic foot per hour

Tabla E.1. Gasto volumétrico ajustado

	Válvula A	Válvula B	Válvula C	Válvula D	Válvula E	Válvula F	Válvula G
	Presión A.						
GRADOS	cm C. Agua						

270						27.1550	27.0511
255	27.4071				27.5359	27.1367	27.0634
240	27.3947		27.5514		27.4045	27.0790	27.0252
225	27.3558		27.3516		27.2627	26.9819	26.9365
210	27.2904	27.0402	27.1520		27.1104	26.8456	26.7974
195	27.1986	27.1384	26.9526	27.4970	26.9477	26.6698	26.6077
180	27.0803	27.1683	26.7534	27.5213	26.7746	26.4548	26.3676
165	26.9355	27.1299	26.5545	27.4428	26.5911	26.2004	26.0769
150	26.7642	27.0232	26.3558	27.2614	26.3971	25.9066	25.7358
135	26.5665	26.8482	26.1574	26.9773	26.1927	25.5736	25.3442
120	26.3422	26.6048	25.9592	26.5904	25.9779	25.2011	24.9021
105	26.0915	26.2931	25.7612	26.1006	25.7527	24.7894	24.4096
90	25.8143	25.9131	25.5635	25.5081	25.5171	24.3383	23.8665
75	25.5106		25.3660		25.2710		
60	25.1805		25.1687		25.0145		

Presión A. : Presión Estática obtenida por curva de ajuste por mínimos cuadrados.

cm C. Agua : Centímetros de columna de agua.

Tabla E.2. Presión estática ajustada

A continuación se presentan las gráficas correspondientes a cada una de las válvulas, donde se muestra la curva con los puntos reales obtenidos con las lecturas que se tomaron del banco de pruebas y la curva con los puntos de ajuste que se incluyen en las tablas E.1. y E.2. de gasto volumétrico y la presión estática.

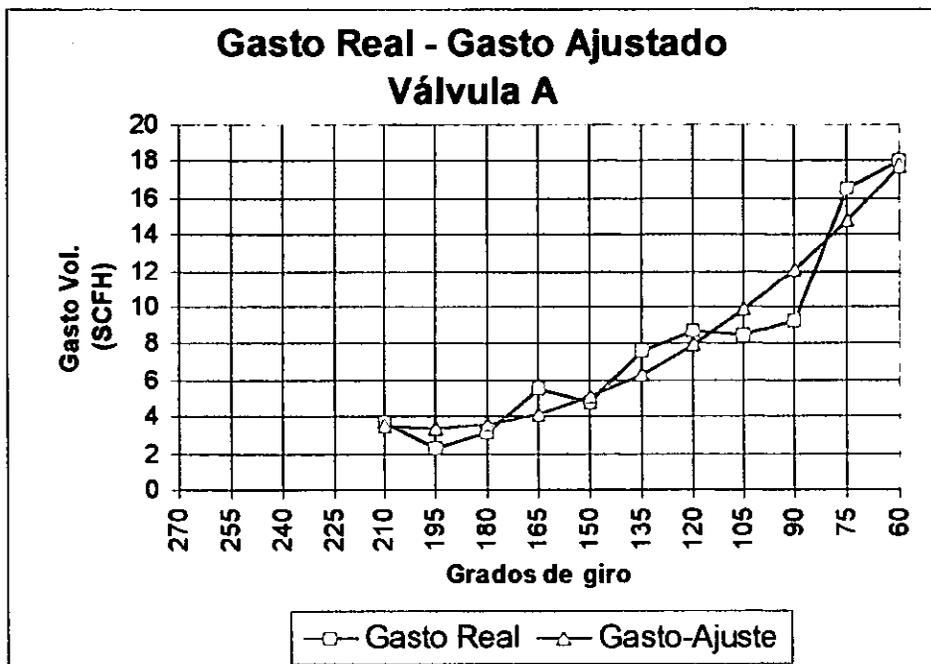


Figura E.1. Gasto volumétrico de válvula A

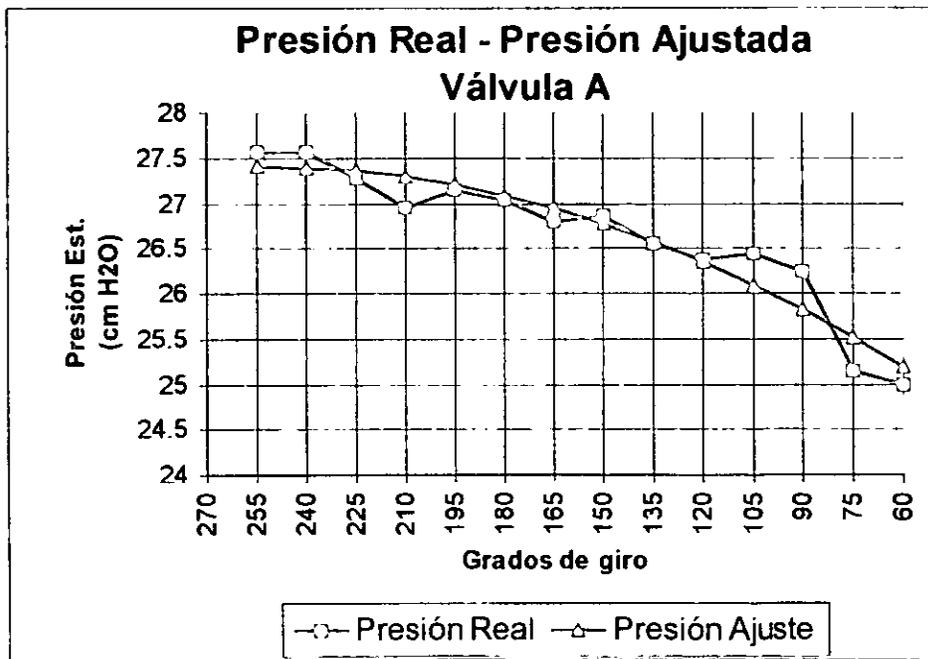


Figura E.2. Presión estática de válvula A

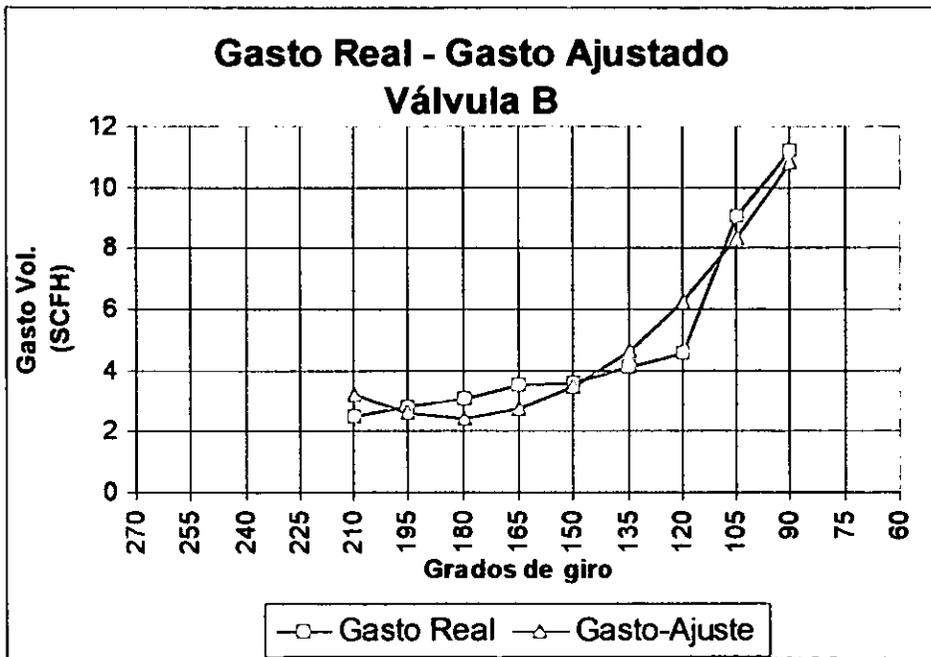


Figura E.3. Gasto volumétrico de válvula B

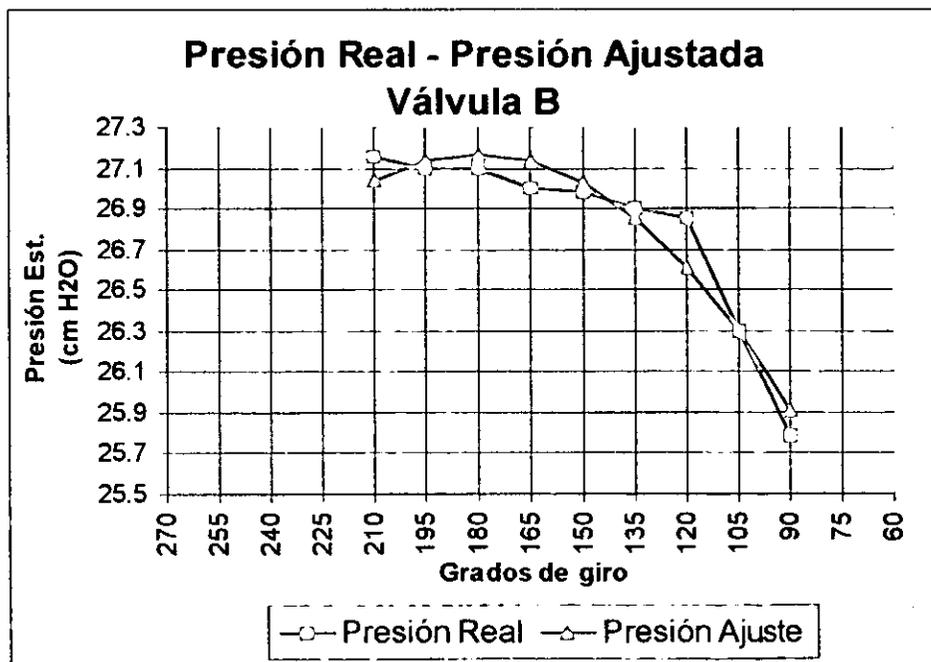


Figura E.4. Presión estática de válvula B

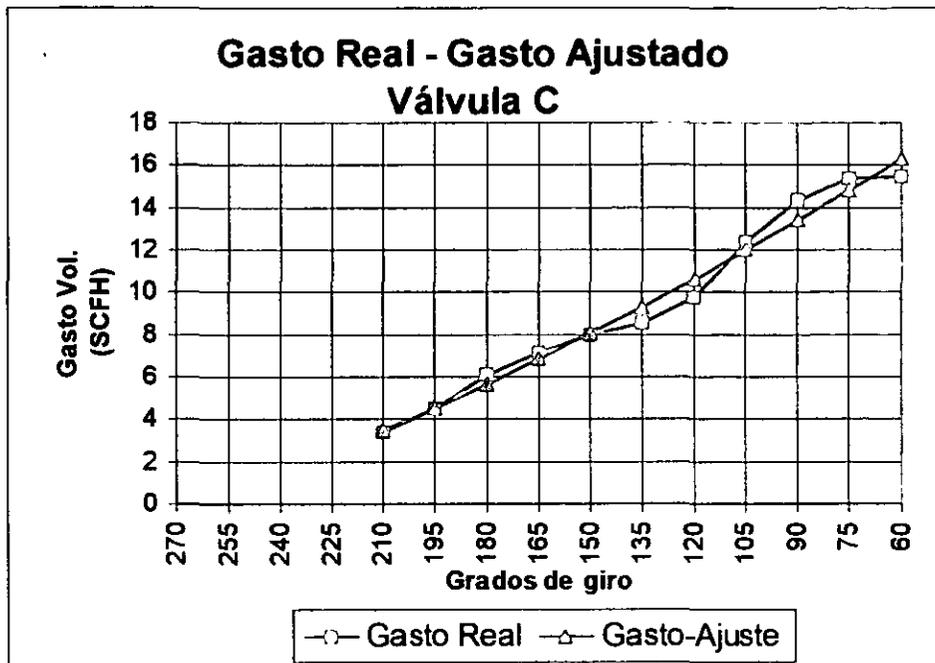


Figura E.5. Gasto volumétrico de válvula C

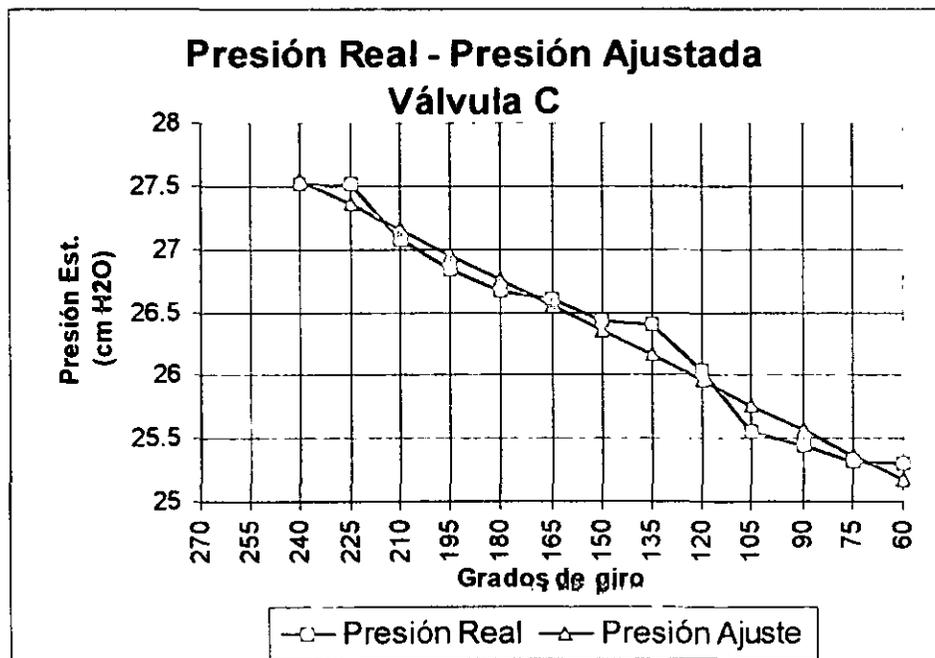


Figura E.6. Presión estática de válvula C

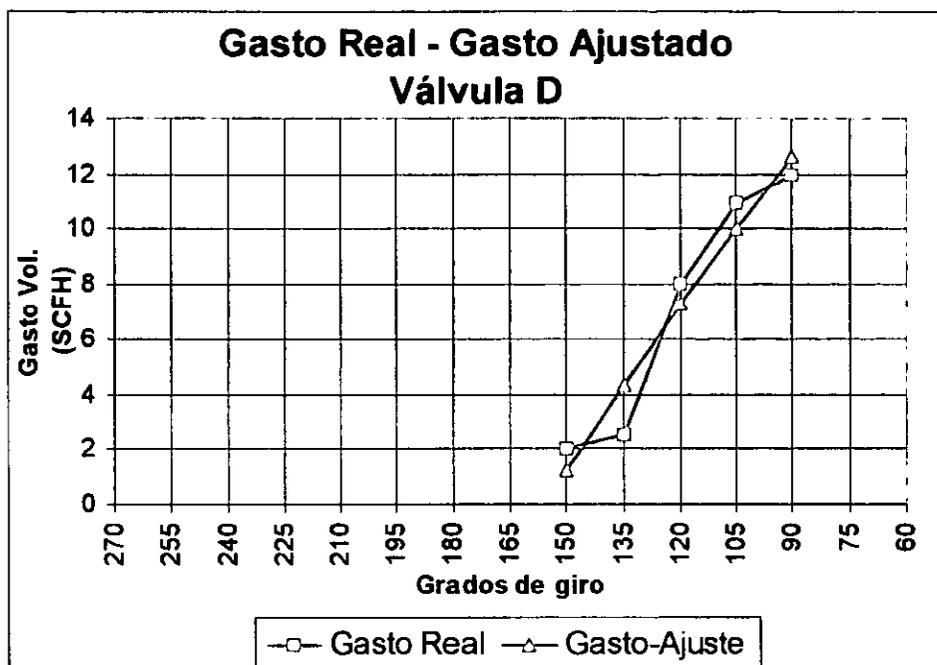


Figura E.7. Gasto volumétrico de válvula D

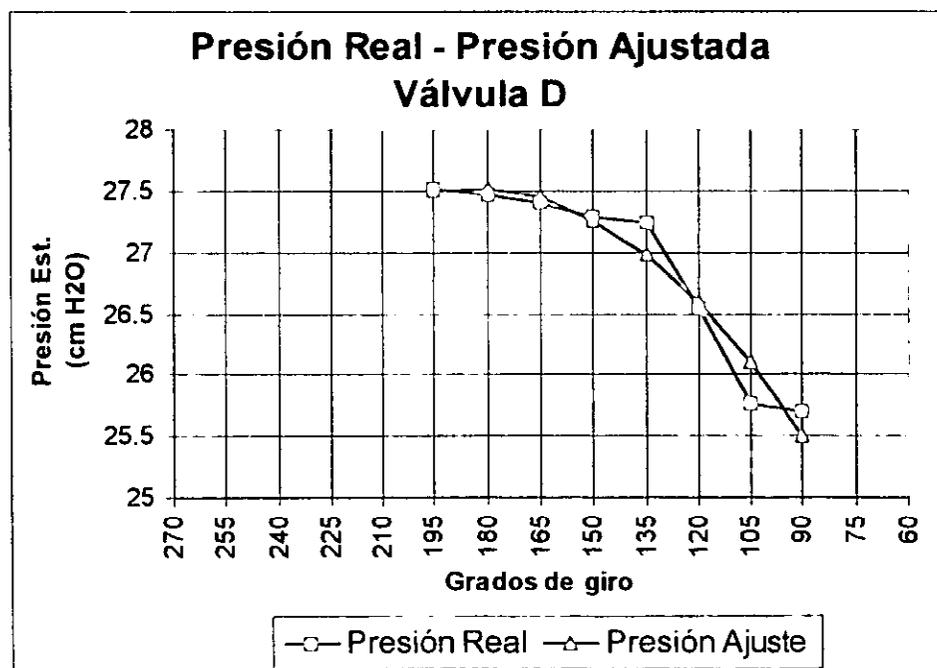


Figura E.8. Presión estática de válvula D

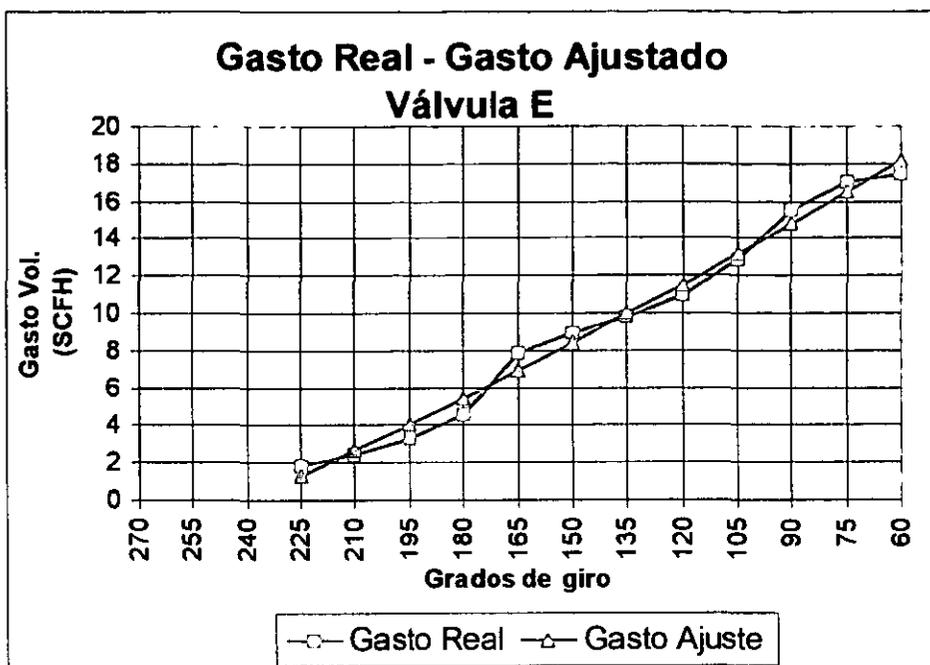


Figura E.9. Gasto volumétrico de válvula E

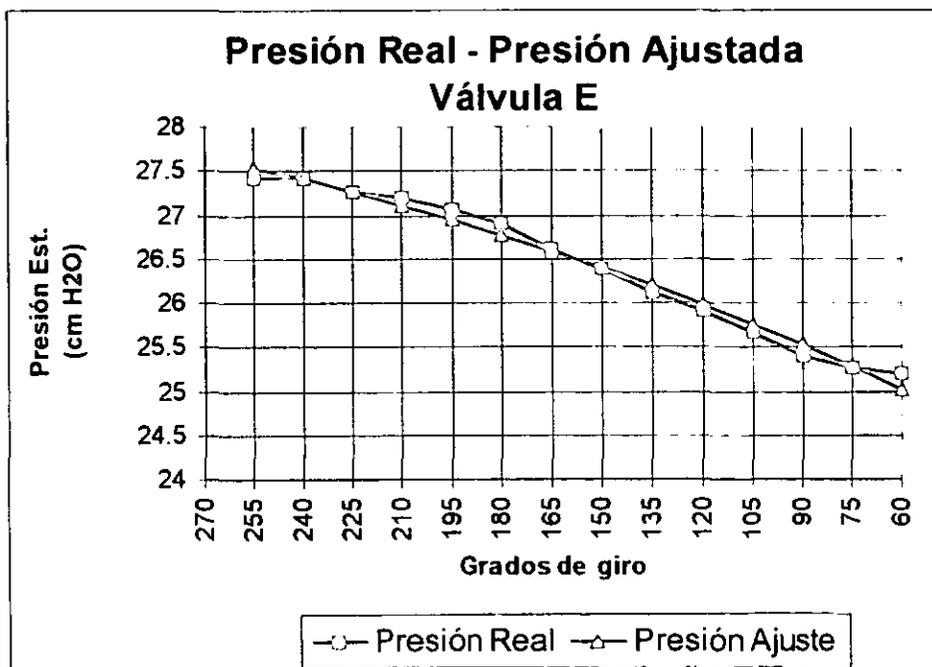


Figura E.10. Presión estática de válvula E

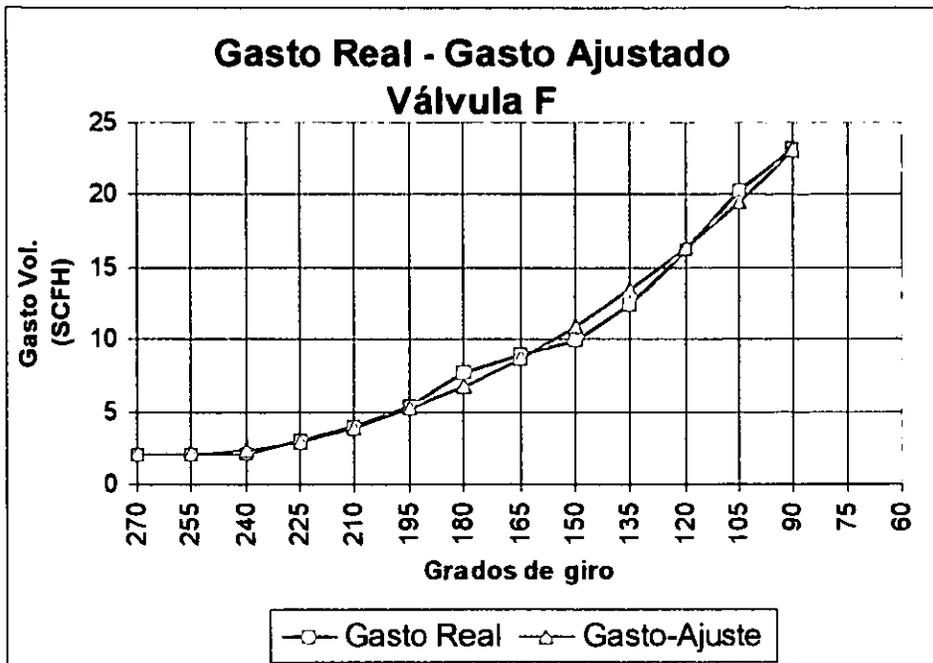


Figura E.11. Gasto volumétrico de válvula F

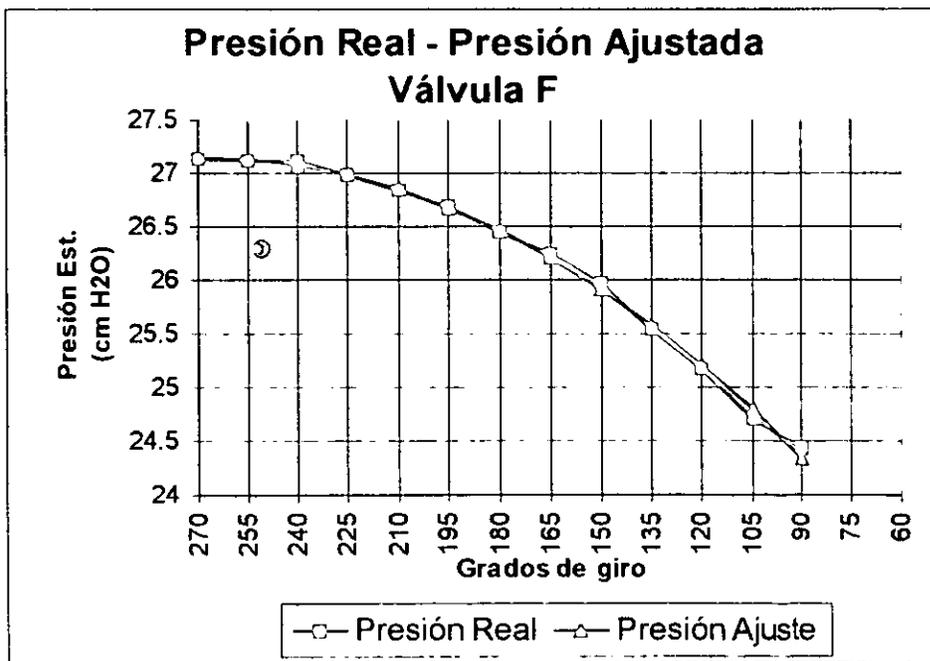


Figura E.12. Presión estática de válvula F

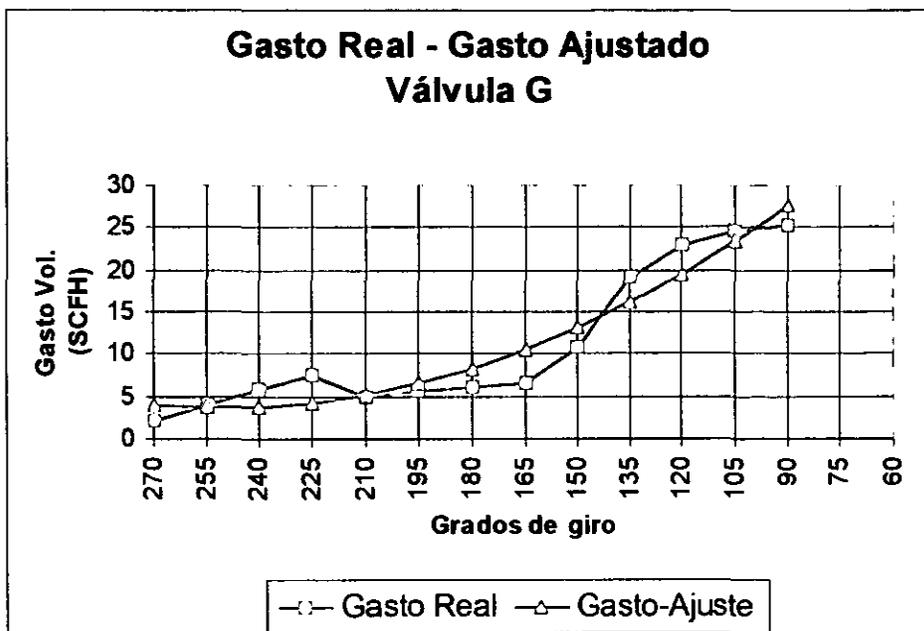


Figura E.13. Gasto volumétrico de válvula G

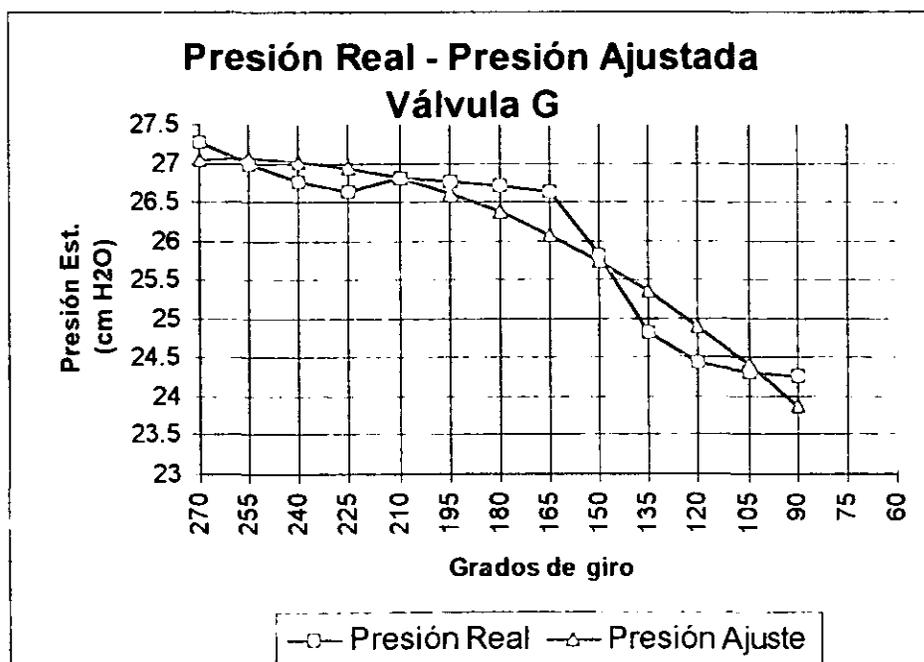


Figura E.14. Presión estática de válvula G