

CAPÍTULO 5

PARÁMETROS Y SISTEMA HIDRÁULICO

DATOS Y RESULTADOS DEL SISTEMA EMPLEANDO LAS FORMULAS

5.1 Resultados Hidráulicos

5.1.1 Pérdidas secundarias

Para este capítulo se mostrarán los cálculos obtenidos a partir de las ecuaciones planteadas en el capítulo anterior. A continuación se muestran las dimensiones de los orificios los cuales se muestran en la figura 4.7.

Tabla 5.1: Diámetros de los orificios de alimentación

Punto	Diámetros (mm)	Área (m ²)	Coeficiente de pérdidas secundarias
A	8.00	5.03E-05	0.5
B	3.95	1.23E-05	0.37
C	1.80	2.54E-06	0.26
D	4.53	1.61E-05	0.15
E	4.20	1.39E-05	0.4
F	6.00	2.83E-05	0.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.2: Diámetros de los orificios de retorno

Punto	Diámetros (mm)	Área (m ²)	Coeficiente de pérdidas secundarias
G	6.00	2.83E-05	0.50
H	4.20	1.39E-05	0.37
I	3.8	1.13E-05	1.37
J	1.80	2.54E-06	0.26
K	1.70	2.27E-06	0.15
L	4.00	1.26E-05	0.09

Fuente: Elaboración propia

En las dos tablas anteriores también se muestran los coeficientes de pérdidas secundarias de cada orificio. Estos se encuentran en tablas, de acuerdo con la relación del radio del redondeo salida del orificio y el diámetro del mismo (r_s/D_T). Imágenes de estas tablas que se emplearon en este trabajo se muestran en el apéndice D.

En las imágenes, ya antes mostradas, 3.3 y 3.14 se pueden apreciar estos orificios. Cada punto describe uno en particular ya sea de alimentación o de retorno. Algunos pueden tener las mismas dimensiones, estas se definen en la siguiente tabla.

Tabla 5.3: Diámetros de los orificios de alimentación

Punto	Definición
A	Entrada a la cuerpo de la válvula
B y J	Entrada al lado de acción
C	Salida al lado resistivo
D	Entrada al tubo de presión
E y H	Tubo de presión
F y G	Salida al cilindro de presión
I	Entrada cuerpo de la válvula
K	Salida al lado resistive
L	Salida del cuerpo de la válvula

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos datos y en base a la gráfica de Gasto/Revoluciones que se muestra en los apéndices se puede obtener los resultados de la velocidad del flujo al pasar por la válvula (ya sea de alimentación o retorno). Las dos tablas que se presentan a continuación confirman lo mostrado en las formulas: ha menor área transversal de los orificios la velocidad será mayor. Lo anterior lo podemos comprobar al observar el punto C y el punto J, ya que comparativamente, el fluido tiene más velocidad al pasar por estos orificios. Es importante mencionar que en estas tablas se muestra un incremento gradual del gasto, un incremento de 5 l/min, hasta el máximo que la bomba puede dar que es de 7 l/min, además de que se considera a la válvula 100% abierta (en

el apéndice D se mostrarán tablas de la presión cuando la válvula no esta completamente abierta). Las tablas se muestran a continuación.

Tabla 5.4: Gasto/Velocidad en los puntos de alimentación

Gasto Q (l/min)	Punto A (m/s)	Punto B (m/s)	Punto C (m/s)	Punto D (m/s)	Punto E (m/s)	Punto F (m/s)
0.50	0.17	0.68	3.27	0.52	0.60	0.29
1.00	0.33	1.36	6.55	1.03	1.20	0.59
1.50	0.50	2.04	9.82	1.55	1.80	0.88
2.00	0.66	2.72	13.10	2.07	2.41	1.18
2.50	0.83	3.40	16.37	2.59	3.01	1.47
3.00	0.99	4.08	19.65	3.10	3.61	1.77
3.50	1.16	4.76	22.92	3.62	4.21	2.06
4.00	1.33	5.44	26.20	4.14	4.81	2.36
4.50	1.49	6.12	29.47	4.65	5.41	2.65
5.00	1.66	6.80	32.75	5.17	6.01	2.95
5.50	1.82	7.48	36.02	5.69	6.62	3.24
6.00	1.99	8.16	39.30	6.20	7.22	3.54
6.50	2.16	8.84	42.57	6.72	7.82	3.83
7.00	2.32	9.52	45.85	7.24	8.42	4.13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.5: Gasto/Velocidad en los puntos de retorno

Gasto Q (l/min)	Punto G (m/s)	Punto H (m/s)	Punto I (m/s)	Punto J (m/s)	Punto K (m/s)	Punto L (m/s)
0.50	0.29	0.60	0.73	3.27	3.67	0.66
1.00	0.59	1.20	1.47	6.55	7.34	1.33
1.50	0.88	1.80	2.20	9.82	11.01	1.99
2.00	1.18	2.41	2.94	13.10	14.69	2.65
2.50	1.47	3.01	3.67	16.37	18.36	3.32
3.00	1.77	3.61	4.41	19.65	22.03	3.98
3.50	2.06	4.21	5.14	22.92	25.70	4.64

Tabla 5.5: Continuación

Gasto Q (l/min)	Punto G (m/s)	Punto H (m/s)	Punto I (m/s)	Punto J (m/s)	Punto K (m/s)	Punto L (m/s)
4.00	2.36	4.81	5.88	26.20	29.37	5.31
4.50	2.65	5.41	6.61	29.47	33.04	5.97
5.00	2.95	6.01	7.35	32.75	36.71	6.63
5.50	3.24	6.62	8.08	36.02	40.39	7.29
6.00	3.54	7.22	8.82	39.30	44.06	7.96
6.50	3.83	7.82	9.55	42.57	47.73	8.62
7.00	4.13	8.42	10.29	45.85	51.40	9.28

Fuente: Elaboración propia

Ya teniendo estos valores de velocidad podemos concentrarnos en los de las pérdidas de presión para así encontrar la relación con la fuerza y el ángulo de giro. En las tablas 5.1 y 5.2 también se muestran en los coeficientes de pérdidas secundarias de los orificios. Estos se obtienen de tablas basadas en experimentos. Los datos se toman en función del tipo de elemento que ocasiona la pérdida: un codo, venturi, conexiones, ensanchamiento o estrechamiento, válvulas (como en este caso), etc.

En el caso de esta válvula, y para funciones de este proyecto, se tomaron de forma independiente los valores de los coeficientes de pérdida, es decir, no como una válvula en conjunto sino como orificios de ensanchamiento o estrechamiento según el caso. Lo anterior se tomó en base a la complejidad de la válvula, pues sus elementos se pueden tomar como si fueran “independientes”. Tomar a esta válvula como un conjunto es algo para lo cual se necesitaría una serie de experimentos y mediciones que se salen del objetivo de este trabajo.

En este caso se tomo cada punto donde hubiera orificios (dentro de la válvula) pues es en esos puntos donde se presentan las mayores pérdidas de presión del sistema. Estos

se tomaron como ensanchamientos o estrechamientos. Las pérdidas primarias del sistema se tomaron de forma normal.

Para encontrar la diferencia de presión se partirá de la ecuación 4.22. Teniendo ya la velocidad, el coeficiente lo que falta es la densidad (ρ) del fluido. En este caso la densidad es 802 kg/m^3 . Ahora con todos los datos podemos obtener las siguientes tablas considerando la válvula 100% abierta.

Tabla 5.6: Diferencia de presión en los orificios de alimentación (100% abierta la válvula)

Gasto Q (l/min)	ΔP Punto A (Pa)	ΔP Punto B (Pa)	ΔP Punto C (Pa)	ΔP Punto D (Pa)	ΔP Punto E (Pa)	ΔP Punto F (Pa)
0.50	5.51E+00	9.27E+01	2.15E+03	5.36E+01	7.25E+01	1.74E+01
1.00	2.20E+01	3.71E+02	8.60E+03	2.14E+02	2.90E+02	6.97E+01
1.50	4.96E+01	8.34E+02	1.94E+04	4.82E+02	6.53E+02	1.57E+02
2.00	8.82E+01	1.48E+03	3.44E+04	8.58E+02	1.16E+03	2.79E+02
2.50	1.38E+02	2.32E+03	5.38E+04	1.34E+03	1.81E+03	4.35E+02
3.00	1.98E+02	3.34E+03	7.74E+04	1.93E+03	2.61E+03	6.27E+02
3.50	2.70E+02	4.54E+03	1.05E+05	2.63E+03	3.55E+03	8.53E+02
4.00	3.53E+02	5.93E+03	1.38E+05	3.43E+03	4.64E+03	1.11E+03
4.50	4.46E+02	7.51E+03	1.74E+05	4.34E+03	5.88E+03	1.41E+03
5.00	5.51E+02	9.27E+03	2.15E+05	5.36E+03	7.25E+03	1.74E+03
5.50	6.67E+02	1.12E+04	2.60E+05	6.49E+03	8.78E+03	2.11E+03
6.00	7.94E+02	1.34E+04	3.10E+05	7.72E+03	1.04E+04	2.51E+03
6.50	9.31E+02	1.57E+04	3.63E+05	9.06E+03	1.23E+04	2.94E+03
7.00	1.08E+03	1.82E+04	4.21E+05	1.05E+04	1.42E+04	3.41E+03

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.7: Diferencia de presión en los orificios de retorno (100% abierta la válvula)

Gasto Q (l/min)	ΔP Punto G (Pa)	ΔP Punto H (Pa)	ΔP Punto I (Pa)	ΔP Punto J (Pa)	ΔP Punto K (Pa)	ΔP Punto L (Pa)
0.50	1.74E+01	5.37E+01	2.97E+02	1.12E+03	8.11E+02	1.59E+01
1.00	6.97E+01	2.15E+02	1.19E+03	4.47E+03	3.24E+03	6.35E+01
1.50	1.57E+02	4.83E+02	2.67E+03	1.01E+04	7.30E+03	1.43E+02
2.00	2.79E+02	8.59E+02	4.75E+03	1.79E+04	1.30E+04	2.54E+02
2.50	4.35E+02	1.34E+03	7.42E+03	2.80E+04	2.03E+04	3.97E+02
3.00	6.27E+02	1.93E+03	1.07E+04	4.03E+04	2.92E+04	5.71E+02

3.50	8.53E+02	2.63E+03	1.45E+04	5.48E+04	3.97E+04	7.78E+02
4.00	1.11E+03	3.44E+03	1.90E+04	7.16E+04	5.19E+04	1.02E+03
4.50	1.41E+03	4.35E+03	2.40E+04	9.06E+04	6.57E+04	1.29E+03
5.00	1.74E+03	5.37E+03	2.97E+04	1.12E+05	8.11E+04	1.59E+03
5.50	2.11E+03	6.50E+03	3.59E+04	1.35E+05	9.81E+04	1.92E+03
6.00	2.51E+03	7.73E+03	4.27E+04	1.61E+05	1.17E+05	2.29E+03
6.50	2.94E+03	9.07E+03	5.01E+04	1.89E+05	1.37E+05	2.68E+03
7.00	3.41E+03	1.05E+04	5.81E+04	2.19E+05	1.59E+05	3.11E+03

Fuente: Elaboración propia

Después de obtener todas las tablas anteriores es necesario entender que nos dicen. La 5.1 y 5.2 nos dan los diámetros de los orificios a considerar y en base a ello se agrega el coeficiente de pérdida correspondiente. Los orificio que más pérdidas generan es el A y el G, mientras que el D Y K son los que menos pérdidas producen, Lo anterior es en base a la relación radio de entrada/diámetro del orificio. Este valor (el coeficiente) se saca de tablas. Como se mencionó anteriormente en el apéndice D se muestran una tabla y su dibujo de los cuales se obtuvieron esos valores.

La tabla 5.3 es simplemente la definición de cada orificio. Por otro lado la tabla 5.4 y 5.5 son las velocidades correspondientes de cada orificio en la alimentación y en el de retorno del fluido. Esta tabla se aprecia que los orificios más pequeños son los que más pérdidas generan. Como ejemplo vemos el punto C y el K. Lo anterior se aprecia para cualquier gasto. Las diferencias son menores en los orificios de retorno que los de alimentación. La relación entre el orificio de mayor velocidad es y el de menor de alimentación es de 19.7, mientras que la misma relación en los de retorno es de 12.4. la velocidad se ve menos afectada en los orificios de retorno que en la alimentación.

Sin embargo la velocidad, y por ende las pérdidas, en promedio son menores en los orificios de alimentación que en los de retorno. Quizás en los segundos la diferencia sea

mayor entre la pérdida mayor y menor, pero considerando todos los puntos la pérdida es mayor que en los de alimentación, lo cual, al fin de cuentas, es positivo para el funcionamiento de la válvula.

Las tablas mostradas en el apéndice D muestran que las pérdidas al estar las válvulas 50% y 25% abiertas siguen una tendencia casi lineal tanto en retorno como en alimentación. Lo anterior nos indica que podemos multiplicar el valor cuando la válvula esta 100 % abierta por el número indicativo de la apertura de la válvula recorrido entre 100. Por ejemplo 0.20, 0.25, 0.45, 0.85, etc.

5.2 Resultados mecánico

Una vez mostrados los resultados de la parte hidráulica es necesario ver los de la parte mecánica para así poder emplear las ecuaciones mostradas en el capítulo anterior. Para la realización de este trabajo se tomó, como ya se ha mencionado, en base a los datos de un automóvil New Beetle GLS 2006. En la siguiente tabla se muestran algunos de estos datos.

Tabla 5.8: Características del automóvil New Beetle

Concepto	Símbolo	Valor	Unidades
Peso del vehículo (transmisión manual)	Q_1'	1316	kg
Peso del vehículo (transmisión automática)	Q_2'	1340	kg
Distancia de la llanta al punto de dirección	a	138	mm
Distancia de la fuerza de dirección	b	120	mm
Radio de la llanta	r	203.2	mm
Torque producido por el motor	T	170	N/m
Revoluciones del motor	rpm	4000	rev/min

Fuente: Elaboración propia

5.2.1 Resultados de F_1

En las siguientes tablas se muestran los resultados de encontrados para F_1 en sus dos

Tabla 5.9: Resultados del sistema de dirección cuando $a = 0$ (estática)

Concepto	Símbolo	Valor	Unidades
Diámetro interno cilindro de potencia	D_{cp}	38.88	mm
Diámetro del pistón	d_p	24.03	mm
Distancia b (ver figura 4.4)	b	120	mm
Radio del volante	r_3	180	mm
Radio de la columna de dirección	r_4	25	mm
Fuerza ejercida por el conductor	F_3	30	N
Torque de giro	T_2	12.96	N m
Fuerza de dirección	F_1	208.095	N
Presión bomba (en el cilindro)	P	294386	Pa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.10: Resultados del sistema de dirección cuando $a \neq 0$ (movimiento del vehículo)

Concepto	Símbolo	Valor	Unidades
Fuerza que produce movimiento	P	60	N
Peso del vehículo	Q	329	kg
Radio llanta	r	203.2	mm
Distancia del eje z a la fuerza normal (ver figura 4.4)	f	3.78E-03	m
Distancia a (ver figura 4.4)	a	138	mm

Tabla 5.10: Continuación

Concepto	Símbolo	Valor	Unidades
Distancia b (ver figura 4.4)	b	100	mm
Torque llanta	T_{LL}	11	N m
Fuerza de dirección	F_I	108	N
Presión bomba	P_b	22066.1	Pa

Fuente: Elaboración propia

En relación a los resultados de las tablas anteriores podemos ver como la fuerza que ejerce la dirección es mayor cuando el vehículo se encuentra parado a cuando este esta en movimiento. La diferencia entre los dos es casi exactamente de 100 N.

5.1.2 Pérdidas primarias

Para determinar las pérdidas primarias, primero se necesita calcular el número de Reynolds (ver ecuaciones 4.25 y 4.26). Las propiedades del fluido y de la tubería (diámetro del tubo es 4.20 mm) son:

Tabla 5.11: Valores del sistema de dirección

Largo de flecha (m)	Velocidad Tubo (m/s)	Re (Adimensional)	Coefficiente de pérdidas primarias	Pérdidas primarias (Pa)
0.3	0.60	5.96E+02	5.00E-02	5.18E+01
	1.20	1.19E+03	5.37E-02	2.23E+02
	2.41	2.38E+03	4.52E-02	7.50E+02
	3.61	3.58E+03	4.09E-02	1.52E+03
	4.81	4.77E+03	3.80E-02	2.52E+03
	6.01	5.96E+03	3.60E-02	3.73E+03
	7.22	7.15E+03	3.44E-02	5.13E+03
	8.42	8.34E+03	3.31E-02	6.72E+03

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados podemos comprobar que las pérdidas “primarias” para este caso representan una pequeña fracción de la pérdida total de presión. Un solo orificio de

la válvula puede presentar más pérdida que los tubos mismos. Aunque también hay en las mangueras de alimentación y de retorno se registran pérdidas. El hecho de que las mangueras tengan cierta flexibilidad provoca que haya pérdidas no posibles de cuantificar de forma teórica, solamente de forma práctica, y aun así es posible que los resultados de una medición a la otra presente diferencias, aunque leves, en las mediciones. Otro punto a considerar que el largo de la flecha de la flecha de dirección puede variar de modelo a modelo de dirección, aquí se presenta la medida de una flecha de NB.

5.3 Ángulo de deformación de las ruedas

El resultado de las formulas correspondientes los podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla 5.12: Valores del sistema de dirección

Diámetro (m)	Longitud L (m)	Momento polar de inercia J (m ⁴)	Torque T (Nm)	Grados
0.005	0.09	6.14E-11	0.00	0.00
			0.50	0.44
			1.00	0.89
			1.50	1.33
			2.00	1.78
			2.50	2.22
			3.00	2.67
			3.50	3.11
			4.00	3.55
			4.50	4.00
			5.00	4.44

Fuente: Elaboración propia

Los valores del torque se determinan de acuerdo a una prueba que se realizó en el volante de un NB (comparativamente también se realizó en el volante de un automóvil

Jetta). En esta prueba se determinó que la fuerza máxima que se aplica al volante es de 50 N con el motor apagado y de 30 N aproximadamente con el motor encendido. Por lo anterior el torque máximo es de 5.4 N m.

De la tabla se muestra que por cada 0.50 N m el ángulo de la flecha se aumenta en 0.44 grados aproximadamente. Lo anterior nos explica el porque al girar el volante la asistencia se aumenta gradualmente y de forma ascendente. Lo anterior se traduce en un menor esfuerzo por parte del conductor.

En esta tabla podemos ver que el ángulo de torsión de la flecha de la dirección. A partir de aquí podemos determinar el ángulo de rotación de las llantas. En base a la relación de desmultiplicación.