

Capítulo 5

Sistema Hidráulico

Hidráulica significa la creación de fuerzas y movimientos mediante fluidos sometidos a presión. Los fluidos sometidos a presión son el medio para la transmisión de energía.

El estudio de la hidráulica industrial comenzó a finales del siglo XVII cuando Pascal formuló una ley que formaría la base fundamental de toda la ciencia hidráulica. El demostró que en un fluido en reposo, la presión es transmitida de igual manera en todas direcciones, en otras palabras “La presión existente en un líquido confinado actúa

igualmente en todas direcciones y lo hace formando ángulos rectos con la superficie del recipiente". La figura 5.1 ilustra la Ley de Pascal

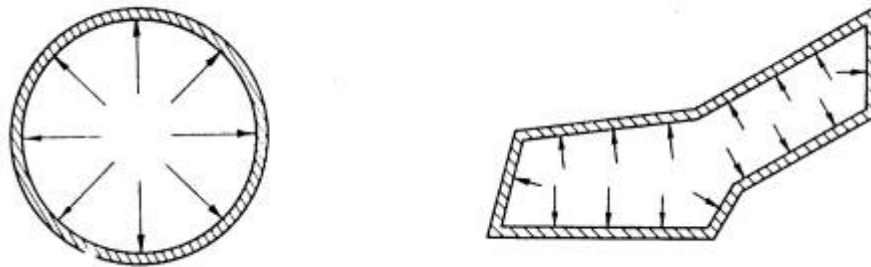


Figura 5.1 Representación ley de Pascal

Los componentes básicos de un sistema hidráulico son: bomba, filtro, recipiente de almacenamiento de aceite, válvulas, actuadores, fluido hidráulico, todos estos elementos son unidos o conectados entre si por medio de tubos y mangueras.

5.1 Bomba hidráulica

Los bombas hidráulicas (figura 5.2) convierten la energía mecánica transmitida por un motor primario (motor eléctrico, motor de combustión interna, etc.) en energía hidráulica. La acción de bombear es la misma para todas las bombas. Se genera un volumen creciente en el lado de la succión y un volumen decreciente en el lado de la presión. En un sistema hidráulico industrial, el tipo de bomba que se usa es de desplazamiento positivo, como son las bombas de paletas, engranes y pistones.

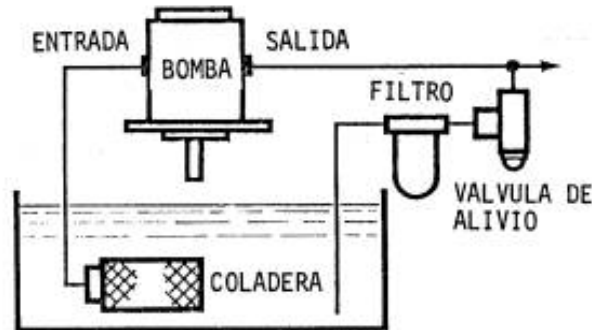


Figura 5.2 Bomba hidráulica

5.2 Válvulas

Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o el caudal del fluido enviado por una bomba hidráulica. Una válvula es un dispositivo mecánico que consiste de un cuerpo y una pieza móvil, que conecta y desconecta conductos dentro del cuerpo. Según su función las válvulas pueden dividirse en: válvulas distribuidoras, válvulas de bloqueo, válvulas de presión, válvulas de caudal, válvulas de cierre.

5.2.1 Válvulas Reguladoras de Caudal

Las aplicaciones de los reguladores de caudal (también reguladores de flujo) no están limitadas a la reducción de la velocidad de los cilindros o actuadores en general, pues además tienen gran aplicación en accionamientos retardados, temporizaciones, impulsos, etc. Los reguladores de caudal pueden ser unidireccionales y bidireccionales.

5.2.2 Válvula de aguja

En la figura 5.3 observamos una válvula de aguja. Después de entrar en el cuerpo de una válvula de aguja, el flujo gira 90° y pasa a través de una abertura que es el asiento de la punta cónica de una barra cilíndrica. En este caso el tamaño del orificio se regula variando la posición relativa de la punta cónica respecto a su asiento. La válvula de aguja es el orificio variable que se usa con mayor frecuencia en los sistemas industriales.

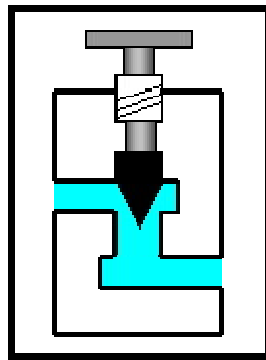


Figura 5.3 Válvula de aguja

5.3 Cilindros Hidráulicos

En cualquier aplicación la energía hidráulica disponible deberá transformarse en energía mecánica para realizar un trabajo. Los cilindros hidráulicos son los encargados de transformar la energía hidráulica a energía mecánica lineal.

En el caso de los cilindros de simple efecto figura 5.4, la presión solo actúa sobre el émbolo. En consecuencia el cilindro solamente puede trabajar en un sentido. Estos cilindros funcionan de la siguiente manera: el fluido sometido a presión entra en la cámara del lado del émbolo, en el émbolo se crea una presión por efecto de la contrafuerza (carga por peso),

una vez superada esta fuerza el cilindro avanza hasta el final de carrera. Durante el movimiento de retroceso, la cámara del lado del émbolo esta conectada con el tanque a través de la tubería y la válvula. El retroceso se produce por el propio peso y por acción del resorte [10].

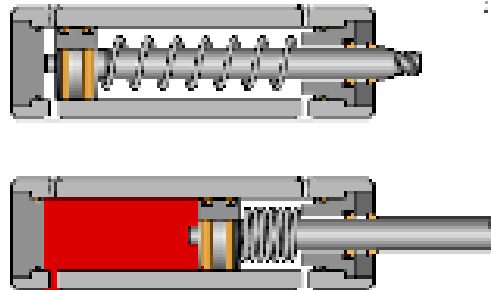


Figura 5.4 Cilindro de simple efecto

5.4 Fluido

En principio, cualquier líquido es apropiado para transmitir energía de presión. No obstante, el líquido utilizado en un sistema hidráulico tiene que cumplir ciertas funciones: transmitir la presión, lubricar las partes móviles de los equipos, disipar el calor producto de la transformación de energía, amortiguar vibraciones causadas por picos de presión, proteger ante corrosión, eliminar partículas abrasiva, además de utilizar líquidos difícilmente inflamables . Los aceites elaborados con aceites minerales, cumplen con todos los requisitos antes mencionados y por esto son los más utilizados en la industria.

5.5 Sistema de enderezado de Chasis en Frío

El principio del sistema de enderezado de chasis es el de crear esfuerzos y momentos en la estructura del chasis para enderezarlo. Estos esfuerzos son creados con

fuerzas hidráulicas producidas por cilindros colocados en torres como las ilustradas en la figura 5.5

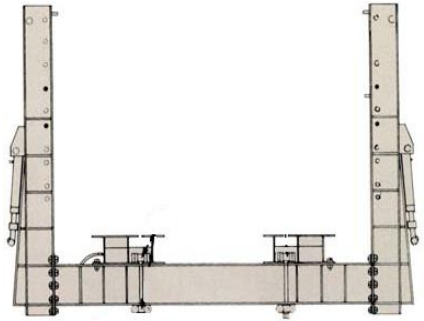


Figura 5.5 Torre sistema de enderezado de chasis

De estas torres salen unas cadenas que se enganchan al chasis las cuales, se encargan de transmitir la fuerza de los cilindros para enderezar la estructura. El sistema se encuentra contenido dentro de una fosa de concreto con el objetivo principal de darle estabilidad a las vigas de acero sobre las cuales descansa la unidad a reparar además, de facilitar la accesibilidad a todas las áreas de la unidad en reparación a los operadores.

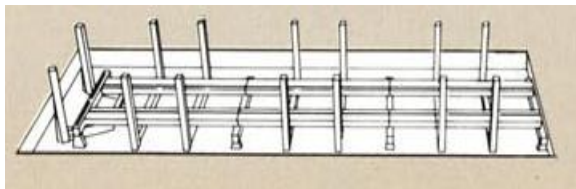


Figura 5.6 Torres del sistema de enderezado

Una vez familiarizado con los componentes y su funcionamiento, se realizó un análisis de todos los elementos instalados en el sistema incluyendo los componentes del sistema hidráulico. El sistema consta de 10 cilindros de simple efecto con una capacidad de 25 toneladas (figura 5.7) cada uno con las características se encuentran descritas en la tabla 5.1 [11].

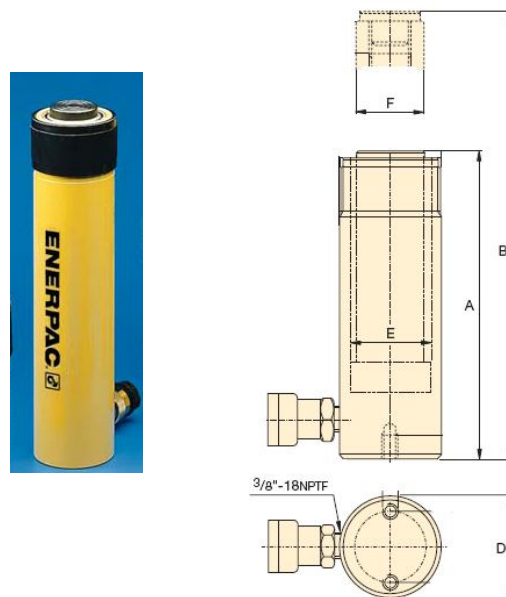


Figura 5.7 Cilindro hidráulico

Tabla 5.1 Características del cilindro

Capacidad de Cilindro [Ton]	Carrera [cm]	Área Efectiva del Cilindro [cm ²]	Volúmen de aceite [cm ³]	Altura Retraído [cm] A	Altura extendido [cm] B	Diametro exterior [cm] D	Diametro interno [cm] E	Diametro émbolo [cm] F	Peso [Kg]
25	36.2	33.3	307.25	47.6	83.86	8.6	6.5	5.72	17.7

Además de los cilindros se cuenta con una bomba manual figura 5.8 y unas válvulas de estrangulamiento que funcionan como reguladores de velocidad de los cilindros así como válvulas de cierre figura 5.9. En la tabla 5.2 se muestran las características más importantes de la bomba utilizada.



Figura 5.8 Bomba manual

Tabla 5.2 Características de bomba manual

Volúmen utilizable de aceite [l]	Presión nominal [bar]	Desplazamiento de aceite [l]	Esfuerzo máximo de bombeo [N]	Peso [Kg]
7	700	NE	489	27.6



Figura. 5.9 Válvula de aguja

El aceite utilizado en el sistema es el HF-101 con las siguientes características tabla 5.3: máxima eficiencia volumétrica de la bomba, máxima transferencia interna de calor, evita la cavitación de la bomba, contiene aditivos que evitan la oxidación y sedimentación, máxima lubricidad de la película protectora [4].

Tabla 5.3 Especificaciones del aceite

Especificaciones del aceite	
Índice de viscosidad	100
Viscosidad 100 °C	4.9/ 5.6 cSt
Viscosidad 40 °C	31.8/35.2 cSt
Viscosidad a -17 °C	2589 cSt
Densidad API	31/33
Punto de inflamación °C	205°C
Punto de fluidez °C	-31.7°C
Punto de anilina °C	99-105°C
Color de la base parafínica	azul

El sistema hidráulico que se encuentra instalado en el sistema de enderezado de chasis en frío, figura (5.10), esta conectado de la siguiente manera: se cuenta con una bomba que produce un caudal y alimenta al sistema a través de la válvula de estrangulamiento, la válvula es conectada al cilindro de simple efecto para controlar el avance del cilindro, mientras que, en ese momento la válvula 2 se encuentra cerrada. Si se quisiera dejar el cilindro en alguna posición intermedia (figura 5.12) (diferente al final de carrera) se tendría que cerrar la válvula 1 o si se quiere retroceder el cilindro se cierra la válvula 1 y se abre la válvula 2 y el cilindro retrocederá gracias a que cuenta con un resorte

interno (figura 5.13) Cuando ambas válvulas se encuentran cerradas y la bomba esta activada el fluido regresa al tanque ya que cuenta con una válvula de alivio (figura 5.11)

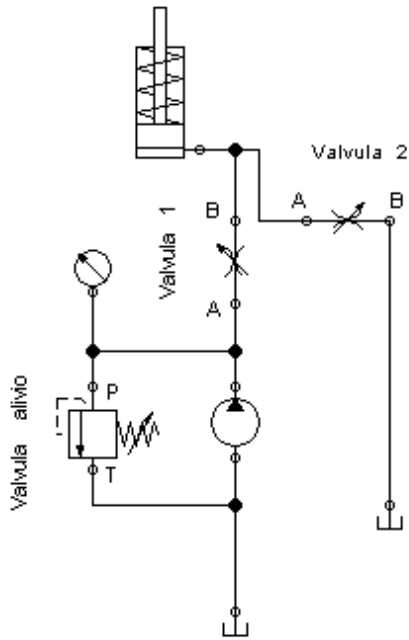


Figura 5.10 Circuito hidráulico actual

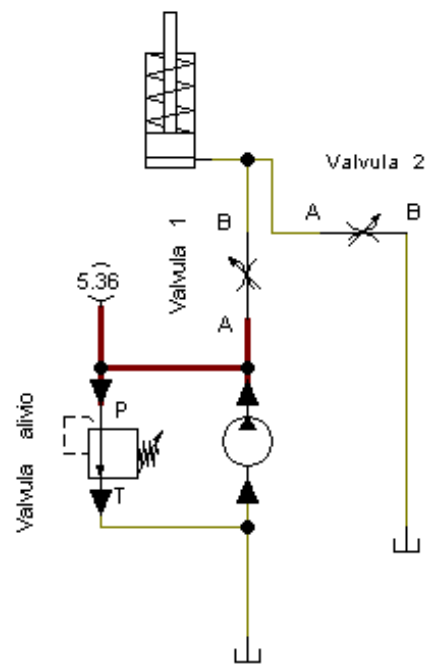


Figura 5.11 Retención cilindro

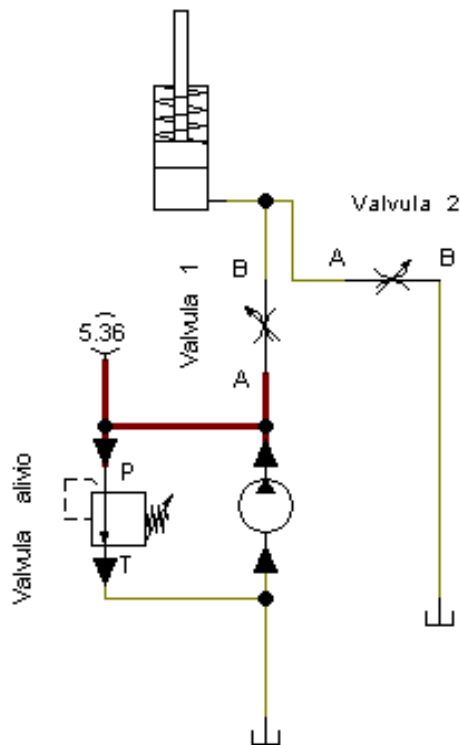


Figura 5.12 Avance del cilindro

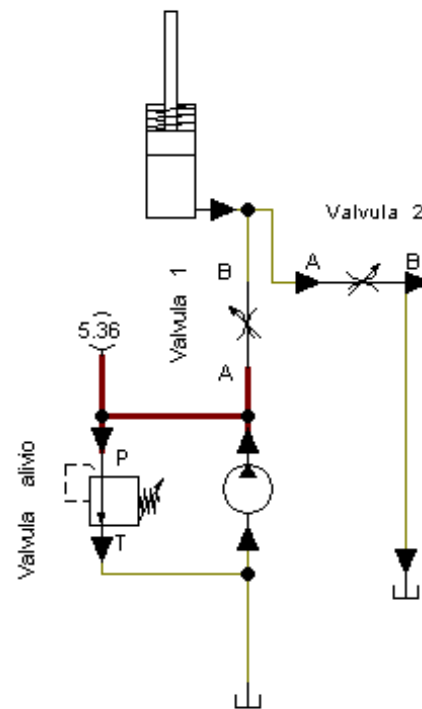


Figura 5.13 Retracción del cilindro

5.6 Sistema Hidráulico con controlador difuso

Para poder utilizar el sistema de enderezado de chasis actualmente instalado, con el control diseñado en este trabajo, se tendrían que realizar algunas modificaciones en el sistema hidráulico para que el PLC pudiera interactuar con los actuadores del sistema. A continuación se muestra las características de los elementos que se proponen:

5.6.1 Bomba eléctrica

Se propone utilizar una bomba eléctrica modelo ZU4 diseñada para manejarse remotamente a través de una válvula solenoide, tiene un motor universal de 1 fase, es ideal para cilindros de simple efecto de tamaño mediano o grande y permite tener un ciclo de trabajo con aplicaciones intermitentes. Las características de esta bomba se encuentran en la Tabla 5.4, y el diagrama de flujo relacionando el caudal con la presión se puede observar en la figura 5.14.

Tabla 5.4 Características de la bomba eléctrica

Rango de caudal de salida (l/min)				Tamaños disponibles del recipiente de aceite (litros)	Tamaño motor (KW)	Nivel de sonido (dbA)
baja presión		alta presión				
7 bar	50 bar	350 bar	700 bar			
11.5	8.8	1.2	1	4-8-10-20-40	1.25	85-90

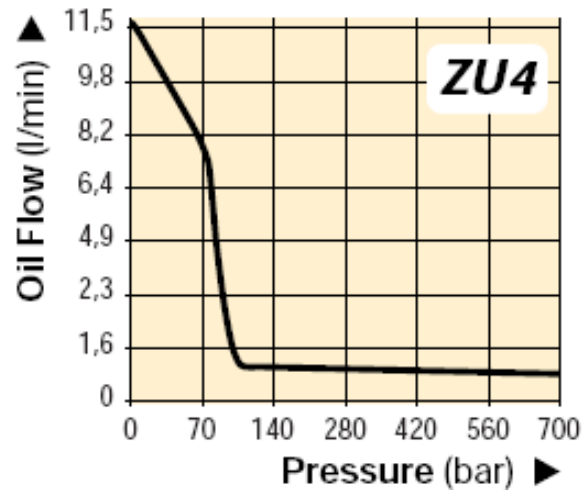


Figura 5.14 Diagrama de flujo de la bomba ZU4 [11]

5.6.2 Válvulas modulares seleccionadas por solenoide

Se propone una válvula VEF-11150-B (figura 5.15), es una válvula 3/3, estas válvulas permiten controlar cilindros de simple acción y permiten tener 3 posiciones: avance, retracción del cilindro y retención, cuentan con una válvula de alivio para proteger al sistema hidráulico. Con una configuración central en tándem, la cual permite un movimiento mínimo o la anulación del movimiento del cilindro y la descarga de la bomba, generando así una mínima acumulación de calor. En la figura 5.16 se muestra una gráfica que relaciona la caída de presión vs caudal de aceite [11].

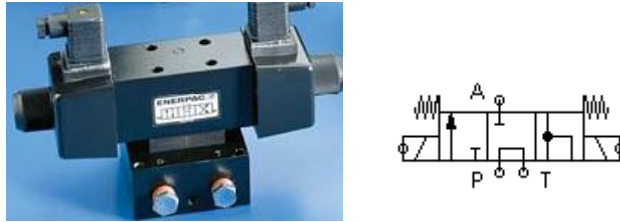


Figura. 5.15 Válvula VEF-11150-B

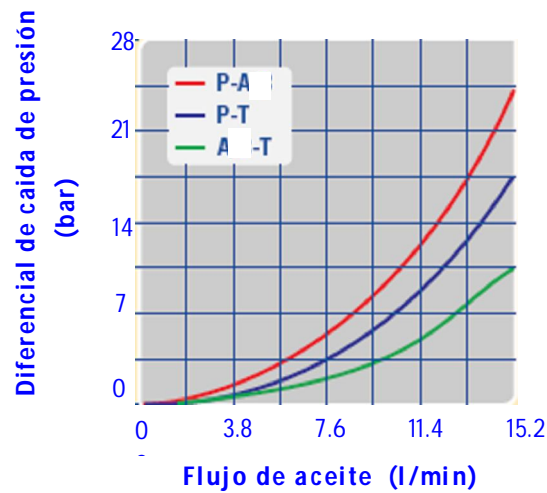


Figura 5.16 Caída de presión vs caudal de aceite [11]

En los siguientes diagramas se muestra el circuito hidráulico con los elementos que se propusieron anteriormente. Cuando el PLC mande la señal a la electroválvula esta cambiará de la posición de inicio tándem a la que se muestra en la figura 5.17 y el cilindro avanzará, la válvula mantendrá esta posición mientras que la señal esté activa en S1, cuando se deje de mandar regresará a la posición inicial la del centro y mantendrá en

retención al cilindro (figura 5.18). Cuando se necesite regresar el cilindro el PLC activará la señal a S2 (figura 5.19) y el fluido regresará al tanque haciendo retroceder al cilindro.

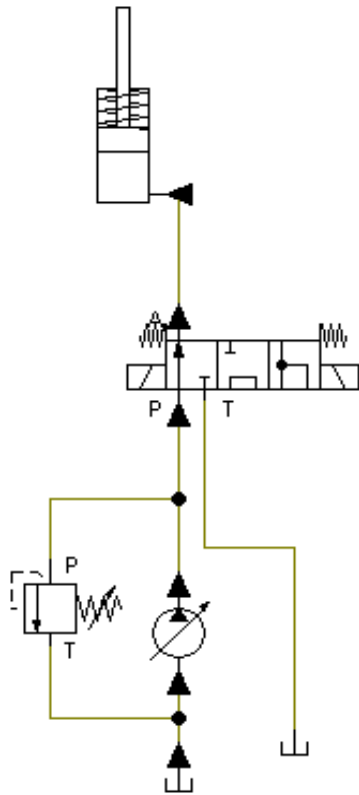


Figura 5.17 Avance del cilindro

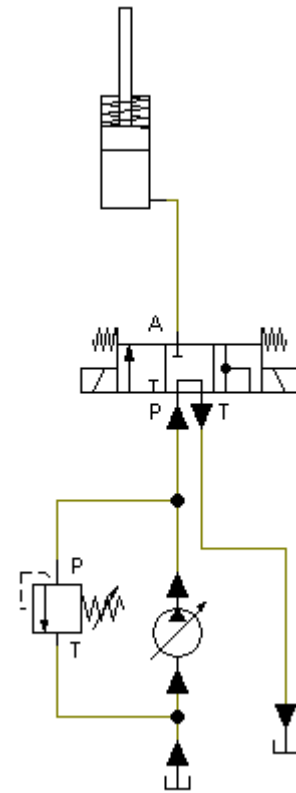


Figura 5.18 Retención del cilindro

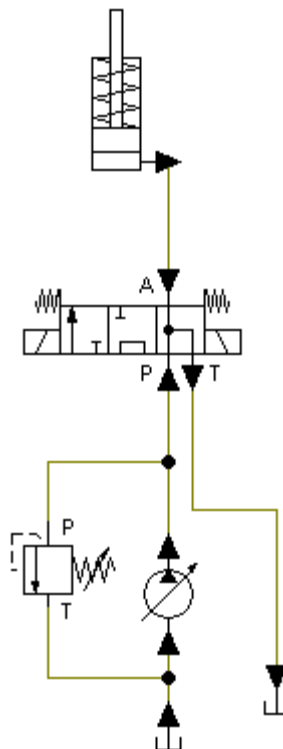


Figura 5.19 Retroceso del cilindro

5.6.3 Factores a considerar

Además de las características de los elementos del circuito hidráulico propuesto es importante tomar en cuenta los diámetros de los tubos rígidos y flexibles ya que estos inciden sobre la cuantía de la pérdida de presión del sistema. Ellos determinan fundamentalmente el grado de eficiencia del sistema, es por esto que es necesario considerar las velocidades máximas de flujo.

El caudal puede ser laminar o turbulento. Si el caudal es laminar, el líquido fluye en el tubo en capas cilíndricas y ordenadas. Las capas interiores fluyen a velocidades mayores que las capas exteriores. A partir de determinada velocidad del fluido (velocidad crítica), las partículas del fluido ya no avanzan en capas ordenadas ya que las partículas que fluyen en el centro del tubo se desvían lateralmente, lo que provoca una formación de remolinos. En consecuencia el caudal se vuelve turbulento, por lo que se pierde energía.

El coeficiente de Reynolds (Re) permite calcular el tipo de caudal que fluye en un tubo liso. Dicho coeficiente esta en función de los siguientes parámetros:

- v velocidad del flujo del líquido (m/s)
- d diámetro del tubo (m)
- ν viscosidad cinemática (m^2/s)

Para calcular el coeficiente de Reynolds debemos primero calcular la velocidad con la que el fluido se desplaza a través de la tubería con las ecuaciones (6), (7) y con la información que nos proporciona el fabricante de los elementos del sistema hidráulico.

- Q caudal de la bomba (cm³/min)
- v velocidad (cm/s)
- A área del cilindro (cm²)

$$Q = vA \rightarrow v = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$v = \frac{1000[\frac{cm^3}{min}]}{33.3[cm^2]} = 30.1[\frac{cm}{s}] = \frac{0.5cm}{s} \quad (7)$$

El tiempo que tarda el embolo para llegar al final de carrera se muestra en las ecuaciones (8) y (9):

$$v = \frac{d}{t} \rightarrow t = \frac{d}{v} \quad (8)$$

Tomando los datos de la tabla 5.1 y sustituyendo los valores:

$$t = \frac{36.2[cm]}{0.5[\frac{cm}{s}]} = 72.4[s] \quad (9)$$

Regresando al cálculo del coeficiente de Reynolds ecuaciones (9) y (10):

- $v=0.5 \frac{cm}{s}$
- $d=3/8 \text{ in} = 0.95 \text{ cm}$
- $\nu_1 = 150 \text{ SUS @ } 40^\circ\text{C} = 31.76 \text{ cSt} = 0.3176 \frac{cm^2}{s}$
- $\nu_2 = 43 \text{ SUS @ } 100^\circ\text{C} = 0.051 \text{ cSt} = 0.0507 \frac{cm^2}{s}$

$$Re_1 = \frac{vd}{\nu_1} = \frac{0.5[\frac{cm}{s}] * 0.95[cm]}{0.3176[\frac{cm^2}{s}]} = 1.49 \quad (9)$$

$$Re_2 = \frac{vd}{\nu_2} = \frac{0.5[\frac{cm}{s}] * 0.95[cm]}{0.0507[\frac{cm^2}{s}]} = 9.45 \quad (10)$$

La forma de interpretar el valor Re es el siguiente [4]:

- Si $Re < 2300$ el flujo es laminar
- Si $Re > 2300$ flujo turbulento

Además del valor de Re suelen aplicarse valores empíricos. En la práctica se aplican los siguientes valores estándar de velocidad crítica [4]:

- Tuberías de impulsión:
 - hasta 50 bar de presión de trabajo: 4.0 m/s
 - hasta 100 bar de presión de trabajo: 4.5 m/s
 - hasta 150 bar de presión de trabajo: 5.0 m/s
 - hasta 200 bar de presión de trabajo: 5.5 m/s
 - hasta 300 bar de presión de trabajo: 6.0 m/s

- Tuberías de aspiración: 1.5 m/s

- Tuberías de retorno: 2.0 m/s

En este capítulo se describió el sistema hidráulico instalado en la empresa Frankfer Reparación de Equipo pesado y se describieron los elementos hidráulicos que sería necesarios para poder implementar el control difuso en la máquina de enderezado. Además se incluyeron los cálculos realizados para asegurar el correcto funcionamiento de dichos elementos.

Capítulo 5

Sistema Hidráulico

Hidráulica significa la creación de fuerzas y movimientos mediante fluidos sometidos a presión. Los fluidos sometidos a presión son el medio para la transmisión de energía.

El estudio de la hidráulica industrial comenzó a finales del siglo XVII cuando Pascal formuló una ley que formaría la base fundamental de toda la ciencia hidráulica. El demostró que en un fluido en reposo, la presión es transmitida de igual manera en todas direcciones, en otras palabras “La presión existente en un líquido confinado actúa

igualmente en todas direcciones y lo hace formando ángulos rectos con la superficie del recipiente". La figura 5.1 ilustra la Ley de Pascal

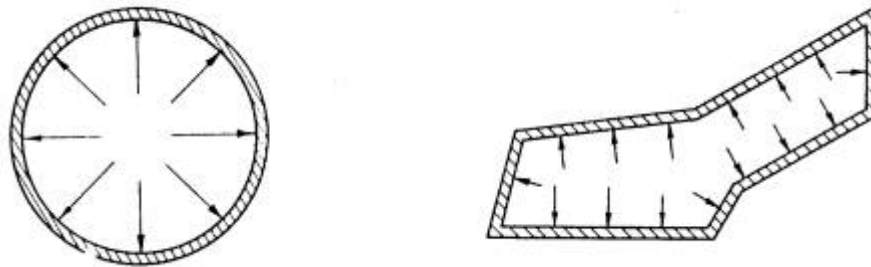


Figura 5.1 Representación ley de Pascal

Los componentes básicos de un sistema hidráulico son: bomba, filtro, recipiente de almacenamiento de aceite, válvulas, actuadores, fluido hidráulico, todos estos elementos son unidos o conectados entre si por medio de tubos y mangueras.

5.1 Bomba hidráulica

Los bombas hidráulicas (figura 5.2) convierten la energía mecánica transmitida por un motor primario (motor eléctrico, motor de combustión interna, etc.) en energía hidráulica. La acción de bombear es la misma para todas las bombas. Se genera un volumen creciente en el lado de la succión y un volumen decreciente en el lado de la presión. En un sistema hidráulico industrial, el tipo de bomba que se usa es de desplazamiento positivo, como son las bombas de paletas, engranes y pistones.

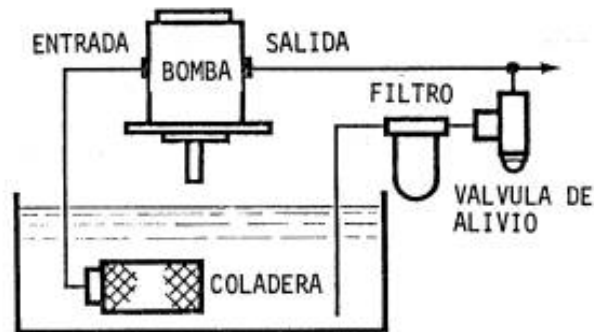


Figura 5.2 Bomba hidráulica

5.2 Válvulas

Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o el caudal del fluido enviado por una bomba hidráulica. Una válvula es un dispositivo mecánico que consiste de un cuerpo y una pieza móvil, que conecta y desconecta conductos dentro del cuerpo. Según su función las válvulas pueden dividirse en: válvulas distribuidoras, válvulas de bloqueo, válvulas de presión, válvulas de caudal, válvulas de cierre.

5.2.1 Válvulas Reguladoras de Caudal

Las aplicaciones de los reguladores de caudal (también reguladores de flujo) no están limitadas a la reducción de la velocidad de los cilindros o actuadores en general, pues además tienen gran aplicación en accionamientos retardados, temporizaciones, impulsos, etc. Los reguladores de caudal pueden ser unidireccionales y bidireccionales.

5.2.2 Válvula de aguja

En la figura 5.3 observamos una válvula de aguja. Después de entrar en el cuerpo de una válvula de aguja, el flujo gira 90° y pasa a través de una abertura que es el asiento de la punta cónica de una barra cilíndrica. En este caso el tamaño del orificio se regula variando la posición relativa de la punta cónica respecto a su asiento. La válvula de aguja es el orificio variable que se usa con mayor frecuencia en los sistemas industriales.

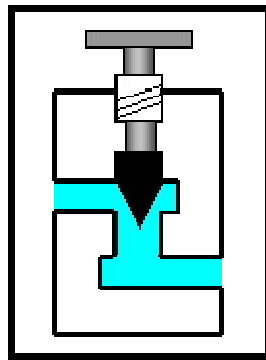


Figura 5.3 Válvula de aguja

5.3 Cilindros Hidráulicos

En cualquier aplicación la energía hidráulica disponible deberá transformarse en energía mecánica para realizar un trabajo. Los cilindros hidráulicos son los encargados de transformar la energía hidráulica a energía mecánica lineal.

En el caso de los cilindros de simple efecto figura 5.4, la presión solo actúa sobre el émbolo. En consecuencia el cilindro solamente puede trabajar en un sentido. Estos cilindros funcionan de la siguiente manera: el fluido sometido a presión entra en la cámara del lado del émbolo, en el émbolo se crea una presión por efecto de la contrafuerza (carga por peso),

una vez superada esta fuerza el cilindro avanza hasta el final de carrera. Durante el movimiento de retroceso, la cámara del lado del émbolo esta conectada con el tanque a través de la tubería y la válvula. El retroceso se produce por el propio peso y por acción del resorte [10].

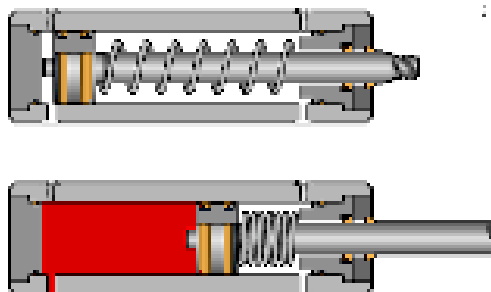


Figura 5.4 Cilindro de simple efecto

5.4 Fluido

En principio, cualquier líquido es apropiado para transmitir energía de presión. No obstante, el líquido utilizado en un sistema hidráulico tiene que cumplir ciertas funciones: transmitir la presión, lubricar las partes móviles de los equipos, disipar el calor producto de la transformación de energía, amortiguar vibraciones causadas por picos de presión, proteger ante corrosión, eliminar partículas abrasiva, además de utilizar líquidos difícilmente inflamables . Los aceites elaborados con aceites minerales, cumplen con todos los requisitos antes mencionados y por esto son los más utilizados en la industria.

5.5 Sistema de enderezado de Chasis en Frío

El principio del sistema de enderezado de chasis es el de crear esfuerzos y momentos en la estructura del chasis para enderezarlo. Estos esfuerzos son creados con

fuerzas hidráulicas producidas por cilindros colocados en torres como las ilustradas en la figura 5.5

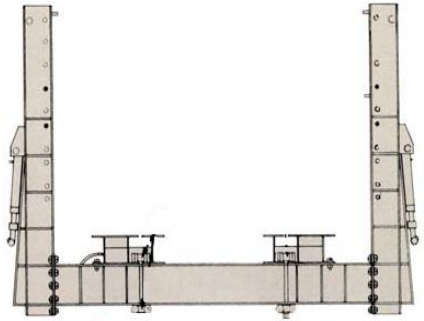


Figura 5.5 Torre sistema de enderezado de chasis

De estas torres salen unas cadenas que se enganchan al chasis las cuales, se encargan de transmitir la fuerza de los cilindros para enderezar la estructura. El sistema se encuentra contenido dentro de una fosa de concreto con el objetivo principal de darle estabilidad a las vigas de acero sobre las cuales descansa la unidad a reparar además, de facilitar la accesibilidad a todas las áreas de la unidad en reparación a los operadores.

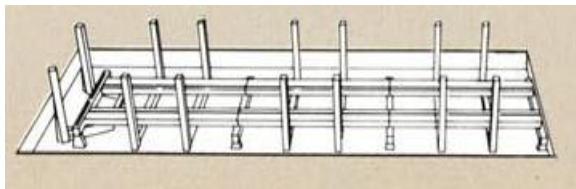


Figura 5.6 Torres del sistema de enderezado

Una vez familiarizado con los componentes y su funcionamiento, se realizó un análisis de todos los elementos instalados en el sistema incluyendo los componentes del sistema hidráulico. El sistema consta de 10 cilindros de simple efecto con una capacidad de 25 toneladas (figura 5.7) cada uno con las características se encuentran descritas en la tabla 5.1 [11].

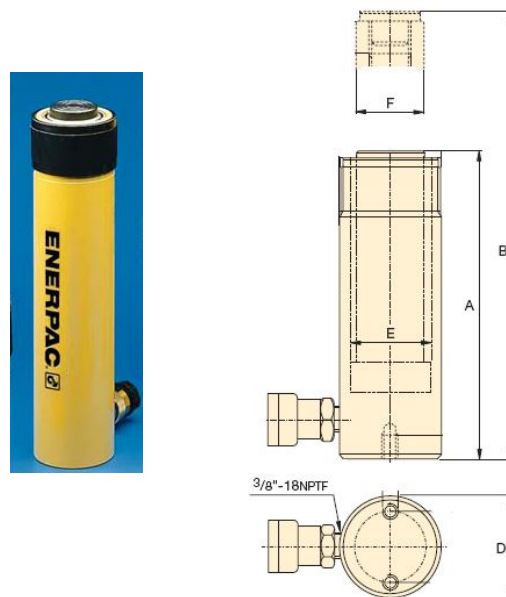


Figura 5.7 Cilindro hidráulico

Tabla 5.1 Características del cilindro

Capacidad de Cilindro [Ton]	Carrera [cm]	Área Efectiva del Cilindro [cm ²]	Volúmen de aceite [cm ³]	Altura Retraído [cm] A	Altura extendido [cm] B	Diametro exterior [cm] D	Diametro interno [cm] E	Diametro émbolo [cm] F	Peso [Kg]
25	36.2	33.3	307.25	47.6	83.86	8.6	6.5	5.72	17.7

Además de los cilindros se cuenta con una bomba manual figura 5.8 y unas válvulas de estrangulamiento que funcionan como reguladores de velocidad de los cilindros así como válvulas de cierre figura 5.9. En la tabla 5.2 se muestran las características más importantes de la bomba utilizada.



Figura 5.8 Bomba manual

Tabla 5.2 Características de bomba manual

Volúmen utilizable de aceite [l]	Presión nominal [bar]	Desplazamiento de aceite [l]	Esfuerzo máximo de bombeo [N]	Peso [Kg]
7	700	NE	489	27.6



Figura. 5.9 Válvula de aguja

El aceite utilizado en el sistema es el HF-101 con las siguientes características tabla 5.3: máxima eficiencia volumétrica de la bomba, máxima transferencia interna de calor, evita la cavitación de la bomba, contiene aditivos que evitan la oxidación y sedimentación, máxima lubricidad de la película protectora [4].

Tabla 5.3 Especificaciones del aceite

Especificaciones del aceite	
Índice de viscosidad	100
Viscosidad 100 °C	4.9/ 5.6 cSt
Viscosidad 40 °C	31.8/35.2 cSt
Viscosidad a -17 °C	2589 cSt
Densidad API	31/33
Punto de inflamación °C	205°C
Punto de fluidez °C	-31.7°C
Punto de anilina °C	99-105°C
Color de la base parafínica	azul

El sistema hidráulico que se encuentra instalado en el sistema de enderezado de chasis en frío, figura (5.10), esta conectado de la siguiente manera: se cuenta con una bomba que produce un caudal y alimenta al sistema a través de la válvula de estrangulamiento, la válvula es conectada al cilindro de simple efecto para controlar el avance del cilindro, mientras que, en ese momento la válvula 2 se encuentra cerrada. Si se quisiera dejar el cilindro en alguna posición intermedia (figura 5.12) (diferente al final de carrera) se tendría que cerrar la válvula 1 o si se quiere retroceder el cilindro se cierra la válvula 1 y se abre la válvula 2 y el cilindro retrocederá gracias a que cuenta con un resorte

interno (figura 5.13) Cuando ambas válvulas se encuentran cerradas y la bomba esta activada el fluido regresa al tanque ya que cuenta con una válvula de alivio (figura 5.11)

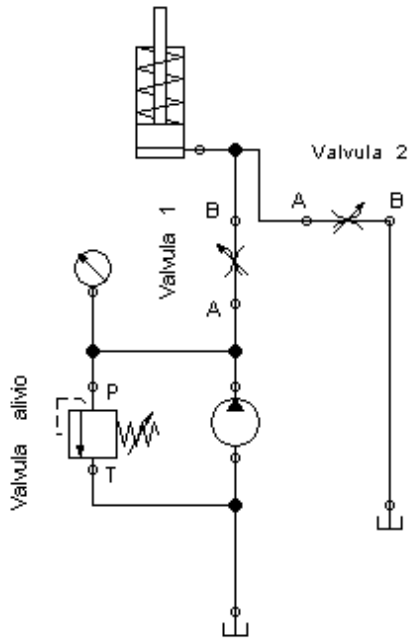


Figura 5.10 Circuito hidráulico actual

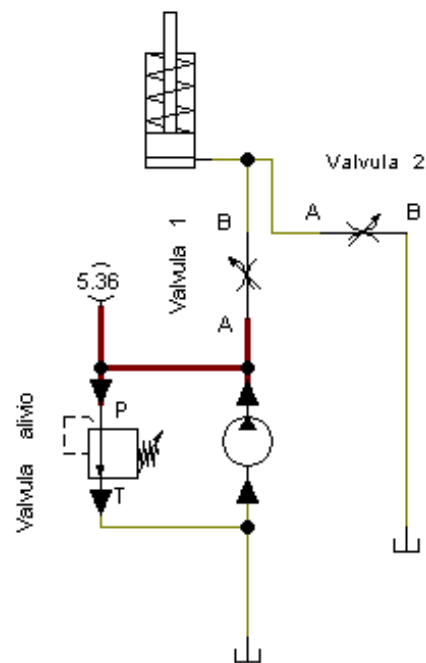


Figura 5.11 Retención cilindro

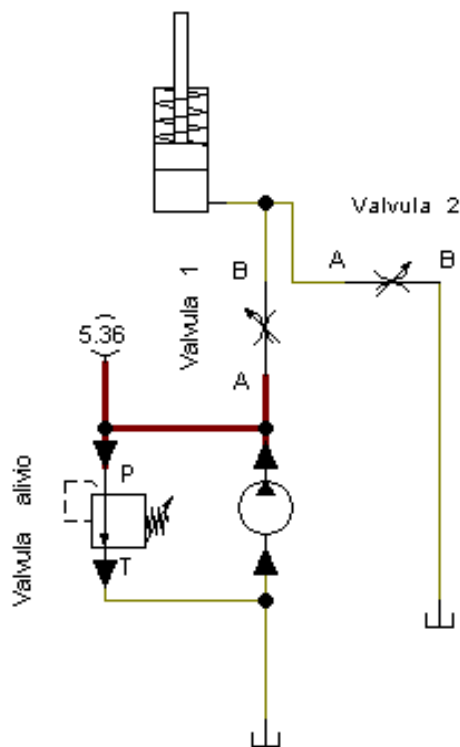


Figura 5.12 Avance del cilindro

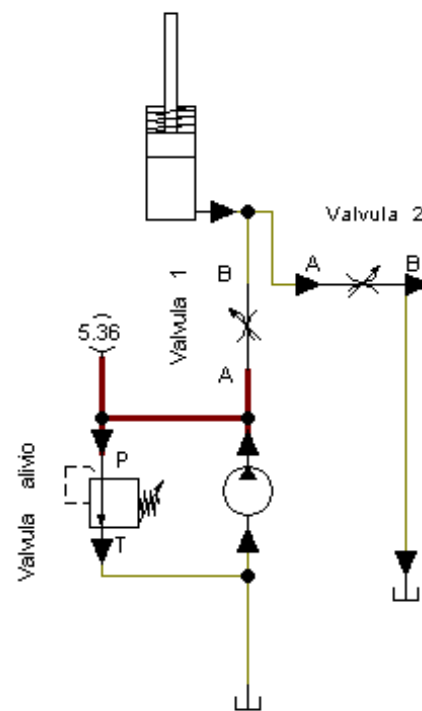


Figura 5.13 Retracción del cilindro

5.6 Sistema Hidráulico con controlador difuso

Para poder utilizar el sistema de enderezado de chasis actualmente instalado, con el control diseñado en este trabajo, se tendrían que realizar algunas modificaciones en el sistema hidráulico para que el PLC pudiera interactuar con los actuadores del sistema. A continuación se muestra las características de los elementos que se proponen:

5.6.1 Bomba eléctrica

Se propone utilizar una bomba eléctrica modelo ZU4 diseñada para manejarse remotamente a través de una válvula solenoide, tiene un motor universal de 1 fase, es ideal para cilindros de simple efecto de tamaño mediano o grande y permite tener un ciclo de trabajo con aplicaciones intermitentes. Las características de esta bomba se encuentran en la Tabla 5.4, y el diagrama de flujo relacionando el caudal con la presión se puede observar en la figura 5.14.

Tabla 5.4 Características de la bomba eléctrica

Rango de caudal de salida (l/min)				Tamaños disponibles del recipiente de aceite (litros)	Tamaño motor (KW)	Nivel de sonido (dbA)
baja presión		alta presión				
7 bar	50 bar	350 bar	700 bar			
11.5	8.8	1.2	1	4-8-10-20-40	1.25	85-90

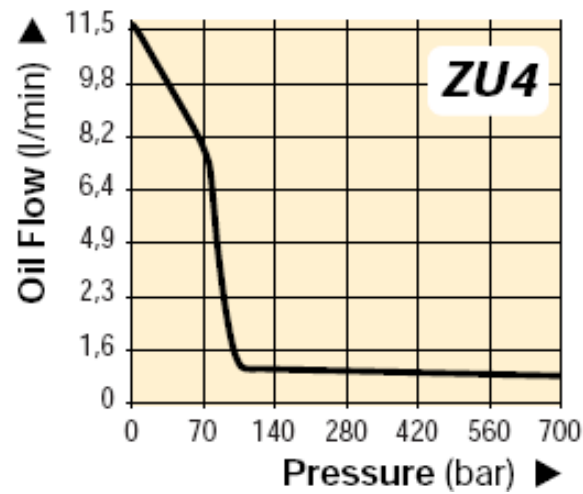


Figura 5.14 Diagrama de flujo de la bomba ZU4 [11]

5.6.2 Válvulas modulares seleccionadas por solenoide

Se propone una válvula VEF-11150-B (figura 5.15), es una válvula 3/3, estas válvulas permiten controlar cilindros de simple acción y permiten tener 3 posiciones: avance, retracción del cilindro y retención, cuentan con una válvula de alivio para proteger al sistema hidráulico. Con una configuración central en tándem, la cual permite un movimiento mínimo o la anulación del movimiento del cilindro y la descarga de la bomba, generando así una mínima acumulación de calor. En la figura 5.16 se muestra una gráfica que relaciona la caída de presión vs caudal de aceite [11].

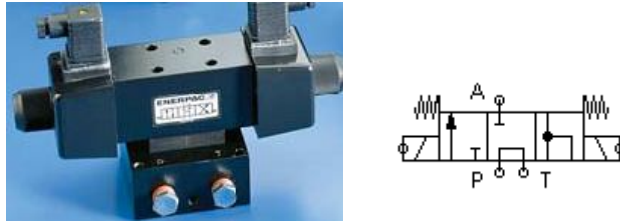


Figura. 5.15 Válvula VEF-11150-B

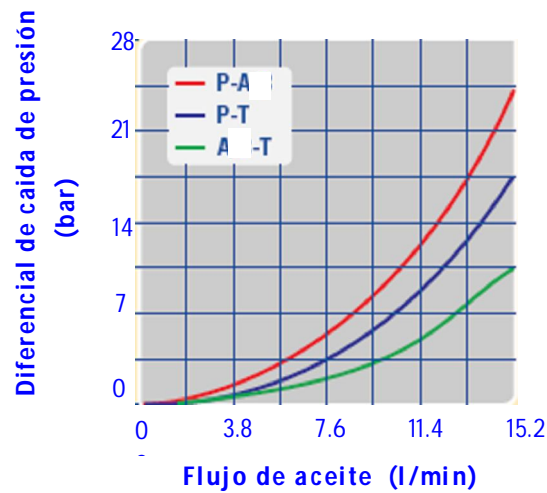


Figura 5.16 Caída de presión vs caudal de aceite [11]

En los siguientes diagramas se muestra el circuito hidráulico con los elementos que se propusieron anteriormente. Cuando el PLC mande la señal a la electroválvula esta cambiará de la posición de inicio tándem a la que se muestra en la figura 5.17 y el cilindro avanzará, la válvula mantendrá esta posición mientras que la señal esté activa en S1, cuando se deje de mandar regresará a la posición inicial la del centro y mantendrá en

retención al cilindro (figura 5.18). Cuando se necesite regresar el cilindro el PLC activará la señal a S2 (figura 5.19) y el fluido regresará al tanque haciendo retroceder al cilindro.

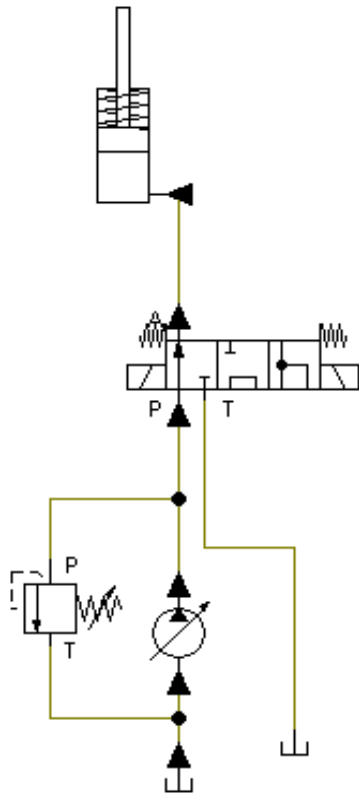


Figura 5.17 Avance del cilindro

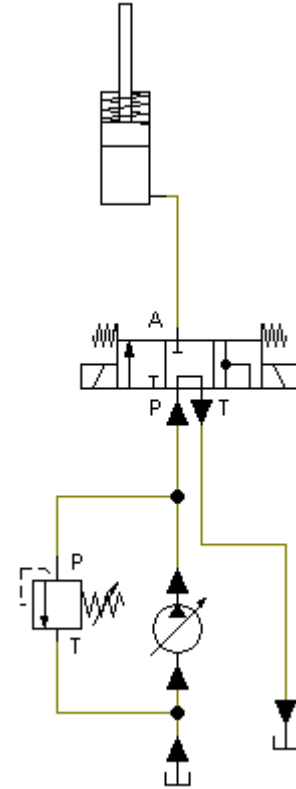


Figura 5.18 Retención del cilindro

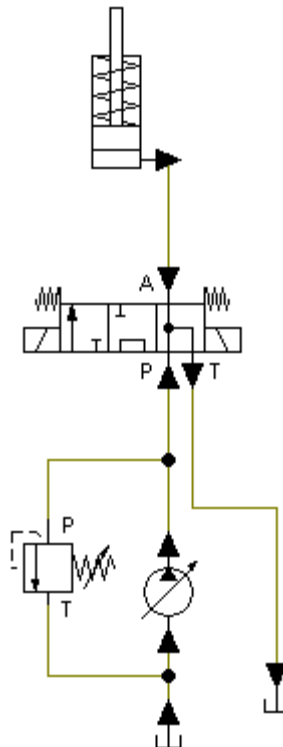


Figura 5.19 Retroceso del cilindro

5.6.3 Factores a considerar

Además de las características de los elementos del circuito hidráulico propuesto es importante tomar en cuenta los diámetros de los tubos rígidos y flexibles ya que estos inciden sobre la cuantía de la pérdida de presión del sistema. Ellos determinan fundamentalmente el grado de eficiencia del sistema, es por esto que es necesario considerar las velocidades máximas de flujo.

El caudal puede ser laminar o turbulento. Si el caudal es laminar, el líquido fluye en el tubo en capas cilíndricas y ordenadas. Las capas interiores fluyen a velocidades mayores que las capas exteriores. A partir de determinada velocidad del fluido (velocidad crítica), las partículas del fluido ya no avanzan en capas ordenadas ya que las partículas que fluyen en el centro del tubo se desvían lateralmente, lo que provoca una formación de remolinos. En consecuencia el caudal se vuelve turbulento, por lo que se pierde energía.

El coeficiente de Reynolds (Re) permite calcular el tipo de caudal que fluye en un tubo liso. Dicho coeficiente esta en función de los siguientes parámetros:

- v velocidad del flujo del líquido (m/s)
- d diámetro del tubo (m)
- ν viscosidad cinemática (m^2/s)

Para calcular el coeficiente de Reynolds debemos primero calcular la velocidad con la que el fluido se desplaza a través de la tubería con las ecuaciones (6), (7) y con la información que nos proporciona el fabricante de los elementos del sistema hidráulico.

- Q caudal de la bomba (cm³/min)
- v velocidad (cm/s)
- A área del cilindro (cm²)

$$Q = vA \rightarrow v = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$v = \frac{1000[\frac{cm^3}{min}]}{33.3[cm^2]} = 30.1[\frac{cm}{s}] = \frac{0.5cm}{s} \quad (7)$$

El tiempo que tarda el embolo para llegar al final de carrera se muestra en las ecuaciones (8) y (9):

$$v = \frac{d}{t} \rightarrow t = \frac{d}{v} \quad (8)$$

Tomando los datos de la tabla 5.1 y sustituyendo los valores:

$$t = \frac{36.2[cm]}{0.5[\frac{cm}{s}]} = 72.4[s] \quad (9)$$

Regresando al cálculo del coeficiente de Reynolds ecuaciones (9) y (10):

- $v=0.5 \frac{cm}{s}$
- $d=3/8 \text{ in} = 0.95 \text{ cm}$
- $\nu_1 = 150 \text{ SUS @ } 40^\circ\text{C} = 31.76 \text{ cSt} = 0.3176 \frac{cm^2}{s}$
- $\nu_2 = 43 \text{ SUS @ } 100^\circ\text{C} = 0.051 \text{ cSt} = 0.0507 \frac{cm^2}{s}$

$$Re_1 = \frac{vd}{\nu_1} = \frac{0.5[\frac{cm}{s}] * 0.95[cm]}{0.3176[\frac{cm^2}{s}]} = 1.49 \quad (9)$$

$$Re_2 = \frac{vd}{\nu_2} = \frac{0.5[\frac{cm}{s}] * 0.95[cm]}{0.0507[\frac{cm^2}{s}]} = 9.45 \quad (10)$$

La forma de interpretar el valor Re es el siguiente [4]:

- Si $Re < 2300$ el flujo es laminar
- Si $Re > 2300$ flujo turbulento

Además del valor de Re suelen aplicarse valores empíricos. En la práctica se aplican los siguientes valores estándar de velocidad crítica [4]:

- Tuberías de impulsión:
 - hasta 50 bar de presión de trabajo: 4.0 m/s
 - hasta 100 bar de presión de trabajo: 4.5 m/s
 - hasta 150 bar de presión de trabajo: 5.0 m/s
 - hasta 200 bar de presión de trabajo: 5.5 m/s
 - hasta 300 bar de presión de trabajo: 6.0 m/s

- Tuberías de aspiración: 1.5 m/s

- Tuberías de retorno: 2.0 m/s

En este capítulo se describió el sistema hidráulico instalado en la empresa Frankfer Reparación de Equipo pesado y se describieron los elementos hidráulicos que sería necesarios para poder implementar el control difuso en la máquina de enderezado. Además se incluyeron los cálculos realizados para asegurar el correcto funcionamiento de dichos elementos.

Capítulo 5

Sistema Hidráulico

Hidráulica significa la creación de fuerzas y movimientos mediante fluidos sometidos a presión. Los fluidos sometidos a presión son el medio para la transmisión de energía.

El estudio de la hidráulica industrial comenzó a finales del siglo XVII cuando Pascal formuló una ley que formaría la base fundamental de toda la ciencia hidráulica. El demostró que en un fluido en reposo, la presión es transmitida de igual manera en todas direcciones, en otras palabras “La presión existente en un líquido confinado actúa

igualmente en todas direcciones y lo hace formando ángulos rectos con la superficie del recipiente". La figura 5.1 ilustra la Ley de Pascal

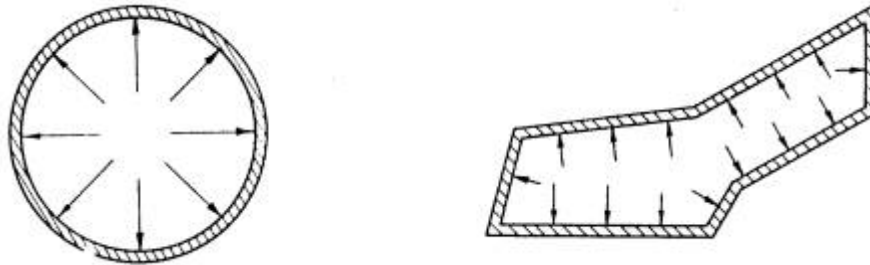


Figura 5.1 Representación ley de Pascal

Los componentes básicos de un sistema hidráulico son: bomba, filtro, recipiente de almacenamiento de aceite, válvulas, actuadores, fluido hidráulico, todos estos elementos son unidos o conectados entre si por medio de tubos y mangueras.

5.1 Bomba hidráulica

Los bombas hidráulicas (figura 5.2) convierten la energía mecánica transmitida por un motor primario (motor eléctrico, motor de combustión interna, etc.) en energía hidráulica. La acción de bombear es la misma para todas las bombas. Se genera un volumen creciente en el lado de la succión y un volumen decreciente en el lado de la presión. En un sistema hidráulico industrial, el tipo de bomba que se usa es de desplazamiento positivo, como son las bombas de paletas, engranes y pistones.

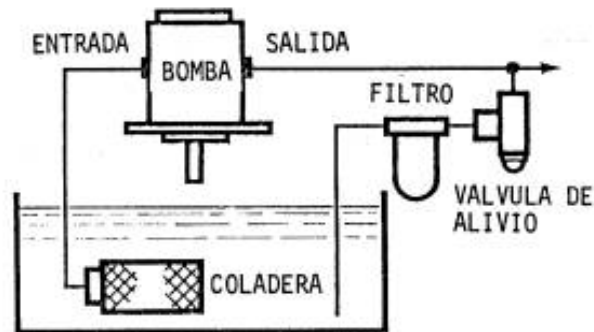


Figura 5.2 Bomba hidráulica

5.2 Válvulas

Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o el caudal del fluido enviado por una bomba hidráulica. Una válvula es un dispositivo mecánico que consiste de un cuerpo y una pieza móvil, que conecta y desconecta conductos dentro del cuerpo. Según su función las válvulas pueden dividirse en: válvulas distribuidoras, válvulas de bloqueo, válvulas de presión, válvulas de caudal, válvulas de cierre.

5.2.1 Válvulas Reguladoras de Caudal

Las aplicaciones de los reguladores de caudal (también reguladores de flujo) no están limitadas a la reducción de la velocidad de los cilindros o actuadores en general, pues además tienen gran aplicación en accionamientos retardados, temporizaciones, impulsos, etc. Los reguladores de caudal pueden ser unidireccionales y bidireccionales.

5.2.2 Válvula de aguja

En la figura 5.3 observamos una válvula de aguja. Después de entrar en el cuerpo de una válvula de aguja, el flujo gira 90° y pasa a través de una abertura que es el asiento de la punta cónica de una barra cilíndrica. En este caso el tamaño del orificio se regula variando la posición relativa de la punta cónica respecto a su asiento. La válvula de aguja es el orificio variable que se usa con mayor frecuencia en los sistemas industriales.

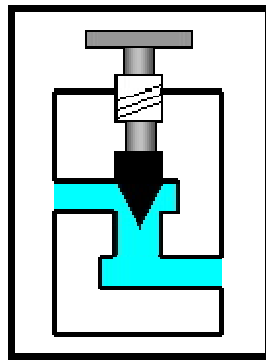


Figura 5.3 Válvula de aguja

5.3 Cilindros Hidráulicos

En cualquier aplicación la energía hidráulica disponible deberá transformarse en energía mecánica para realizar un trabajo. Los cilindros hidráulicos son los encargados de transformar la energía hidráulica a energía mecánica lineal.

En el caso de los cilindros de simple efecto figura 5.4, la presión solo actúa sobre el émbolo. En consecuencia el cilindro solamente puede trabajar en un sentido. Estos cilindros funcionan de la siguiente manera: el fluido sometido a presión entra en la cámara del lado del émbolo, en el émbolo se crea una presión por efecto de la contrafuerza (carga por peso),

una vez superada esta fuerza el cilindro avanza hasta el final de carrera. Durante el movimiento de retroceso, la cámara del lado del émbolo esta conectada con el tanque a través de la tubería y la válvula. El retroceso se produce por el propio peso y por acción del resorte [10].

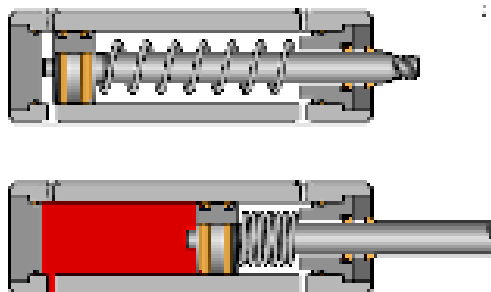


Figura 5.4 Cilindro de simple efecto

5.4 Fluido

En principio, cualquier líquido es apropiado para transmitir energía de presión. No obstante, el líquido utilizado en un sistema hidráulico tiene que cumplir ciertas funciones: transmitir la presión, lubricar las partes móviles de los equipos, disipar el calor producto de la transformación de energía, amortiguar vibraciones causadas por picos de presión, proteger ante corrosión, eliminar partículas abrasiva, además de utilizar líquidos difícilmente inflamables . Los aceites elaborados con aceites minerales, cumplen con todos los requisitos antes mencionados y por esto son los más utilizados en la industria.

5.5 Sistema de enderezado de Chasis en Frío

El principio del sistema de enderezado de chasis es el de crear esfuerzos y momentos en la estructura del chasis para enderezarlo. Estos esfuerzos son creados con

fuerzas hidráulicas producidas por cilindros colocados en torres como las ilustradas en la figura 5.5

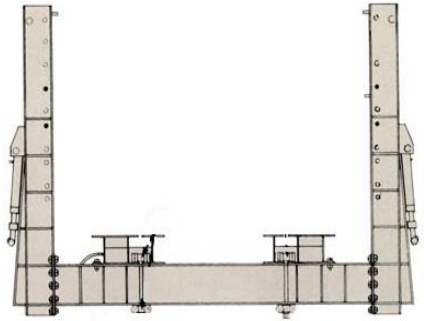


Figura 5.5 Torre sistema de enderezado de chasis

De estas torres salen unas cadenas que se enganchan al chasis las cuales, se encargan de transmitir la fuerza de los cilindros para enderezar la estructura. El sistema se encuentra contenido dentro de una fosa de concreto con el objetivo principal de darle estabilidad a las vigas de acero sobre las cuales descansa la unidad a reparar además, de facilitar la accesibilidad a todas las áreas de la unidad en reparación a los operadores.

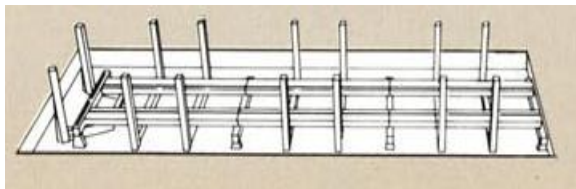


Figura 5.6 Torres del sistema de enderezado

Una vez familiarizado con los componentes y su funcionamiento, se realizó un análisis de todos los elementos instalados en el sistema incluyendo los componentes del sistema hidráulico. El sistema consta de 10 cilindros de simple efecto con una capacidad de 25 toneladas (figura 5.7) cada uno con las características se encuentran descritas en la tabla 5.1 [11].

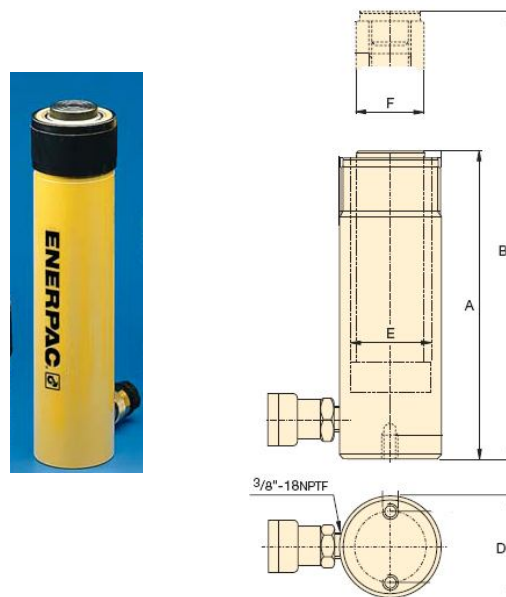


Figura 5.7 Cilindro hidráulico

Tabla 5.1 Características del cilindro

Capacidad de Cilindro [Ton]	Carrera [cm]	Área Efectiva del Cilindro [cm ²]	Volúmen de aceite [cm ³]	Altura Retraído [cm] A	Altura extendido [cm] B	Diametro exterior [cm] D	Diametro interno [cm] E	Diametro émbolo [cm] F	Peso [Kg]
25	36.2	33.3	307.25	47.6	83.86	8.6	6.5	5.72	17.7

Además de los cilindros se cuenta con una bomba manual figura 5.8 y unas válvulas de estrangulamiento que funcionan como reguladores de velocidad de los cilindros así como válvulas de cierre figura 5.9. En la tabla 5.2 se muestran las características más importantes de la bomba utilizada.



Figura 5.8 Bomba manual

Tabla 5.2 Características de bomba manual

Volúmen utilizable de aceite [l]	Presión nominal [bar]	Desplazamiento de aceite [l]	Esfuerzo máximo de bombeo [N]	Peso [Kg]
7	700	NE	489	27.6



Figura. 5.9 Válvula de aguja

El aceite utilizado en el sistema es el HF-101 con las siguientes características tabla 5.3: máxima eficiencia volumétrica de la bomba, máxima transferencia interna de calor, evita la cavitación de la bomba, contiene aditivos que evitan la oxidación y sedimentación, máxima lubricidad de la película protectora [4].

Tabla 5.3 Especificaciones del aceite

Especificaciones del aceite	
Índice de viscosidad	100
Viscosidad 100 °C	4.9/ 5.6 cSt
Viscosidad 40 °C	31.8/35.2 cSt
Viscosidad a -17 °C	2589 cSt
Densidad API	31/33
Punto de inflamación °C	205°C
Punto de fluidez °C	-31.7°C
Punto de anilina °C	99-105°C
Color de la base parafínica	azul

El sistema hidráulico que se encuentra instalado en el sistema de enderezado de chasis en frío, figura (5.10), esta conectado de la siguiente manera: se cuenta con una bomba que produce un caudal y alimenta al sistema a través de la válvula de estrangulamiento, la válvula es conectada al cilindro de simple efecto para controlar el avance del cilindro, mientras que, en ese momento la válvula 2 se encuentra cerrada. Si se quisiera dejar el cilindro en alguna posición intermedia (figura 5.12) (diferente al final de carrera) se tendría que cerrar la válvula 1 o si se quiere retroceder el cilindro se cierra la válvula 1 y se abre la válvula 2 y el cilindro retrocederá gracias a que cuenta con un resorte

interno (figura 5.13) Cuando ambas válvulas se encuentran cerradas y la bomba esta activada el fluido regresa al tanque ya que cuenta con una válvula de alivio (figura 5.11)

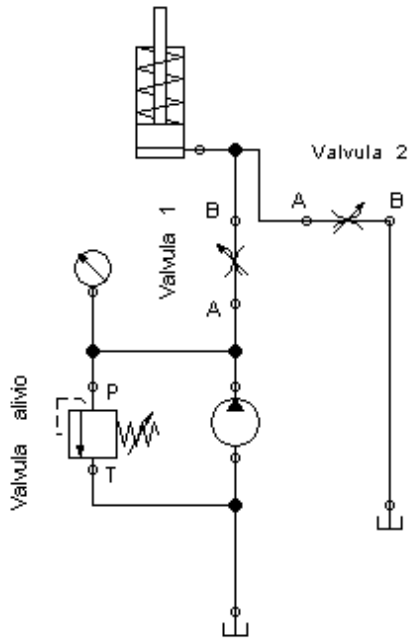


Figura 5.10 Circuito hidráulico actual

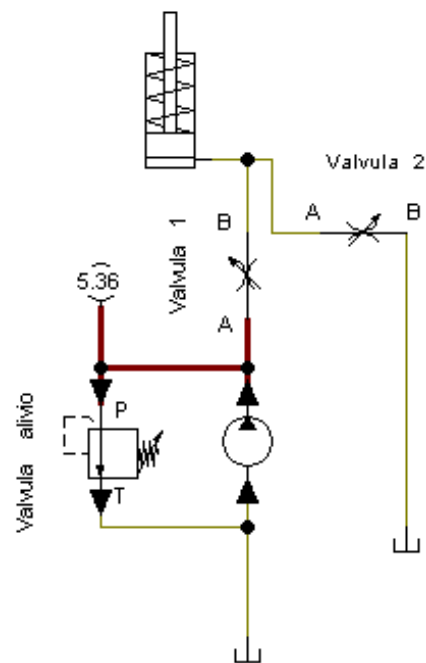


Figura 5.11 Retención cilindro

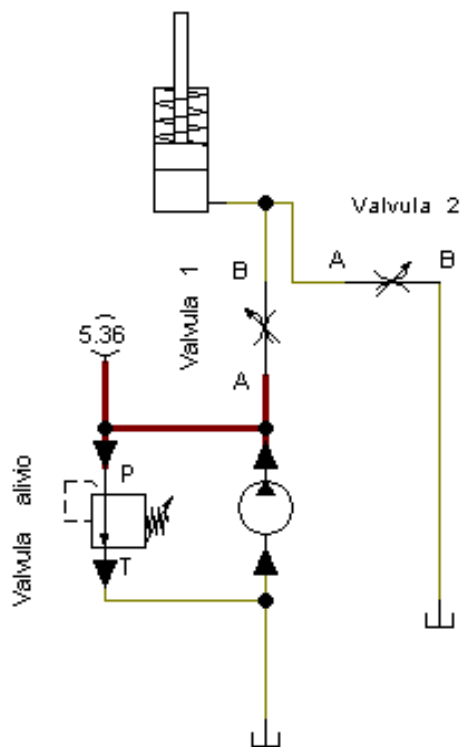


Figura 5.12 Avance del cilindro

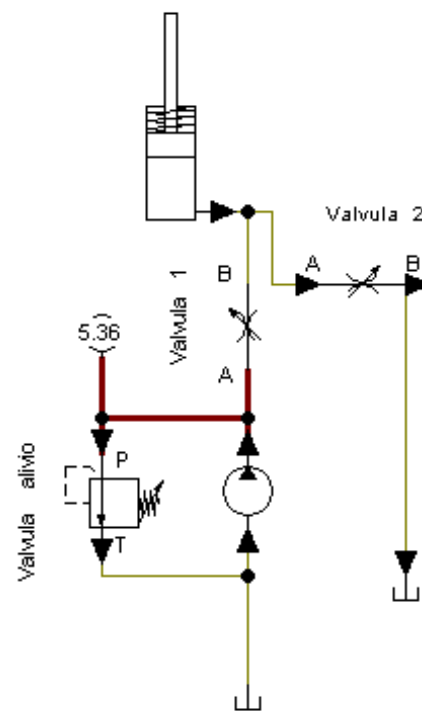


Figura 5.13 Retracción del cilindro

5.6 Sistema Hidráulico con controlador difuso

Para poder utilizar el sistema de enderezado de chasis actualmente instalado, con el control diseñado en este trabajo, se tendrían que realizar algunas modificaciones en el sistema hidráulico para que el PLC pudiera interactuar con los actuadores del sistema. A continuación se muestra las características de los elementos que se proponen:

5.6.1 Bomba eléctrica

Se propone utilizar una bomba eléctrica modelo ZU4 diseñada para manejarse remotamente a través de una válvula solenoide, tiene un motor universal de 1 fase, es ideal para cilindros de simple efecto de tamaño mediano o grande y permite tener un ciclo de trabajo con aplicaciones intermitentes. Las características de esta bomba se encuentran en la Tabla 5.4, y el diagrama de flujo relacionando el caudal con la presión se puede observar en la figura 5.14.

Tabla 5.4 Características de la bomba eléctrica

Rango de caudal de salida (l/min)				Tamaños disponibles del recipiente de aceite (litros)	Tamaño motor (KW)	Nivel de sonido (dbA)
baja presión		alta presión				
7 bar	50 bar	350 bar	700 bar			
11.5	8.8	1.2	1	4-8-10-20-40	1.25	85-90

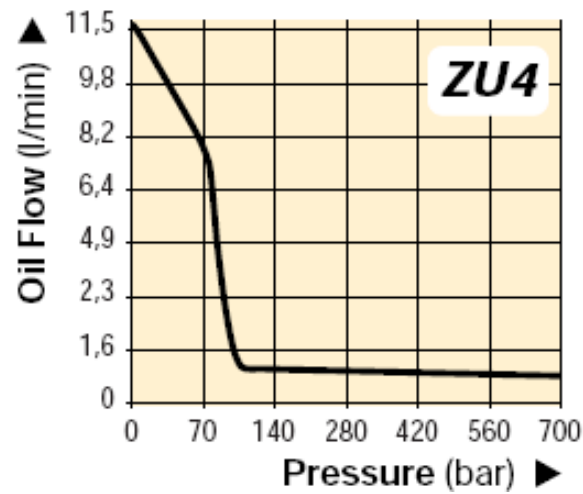


Figura 5.14 Diagrama de flujo de la bomba ZU4 [11]

5.6.2 Válvulas modulares seleccionadas por solenoide

Se propone una válvula VEF-11150-B (figura 5.15), es una válvula 3/3, estas válvulas permiten controlar cilindros de simple acción y permiten tener 3 posiciones: avance, retracción del cilindro y retención, cuentan con una válvula de alivio para proteger al sistema hidráulico. Con una configuración central en tándem, la cual permite un movimiento mínimo o la anulación del movimiento del cilindro y la descarga de la bomba, generando así una mínima acumulación de calor. En la figura 5.16 se muestra una gráfica que relaciona la caída de presión vs caudal de aceite [11].

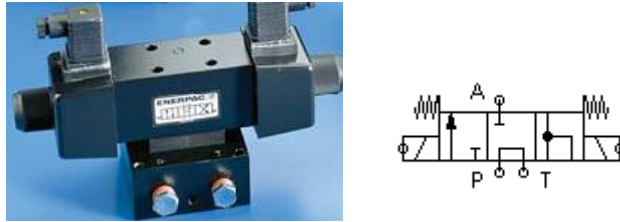


Figura. 5.15 Válvula VEF-11150-B

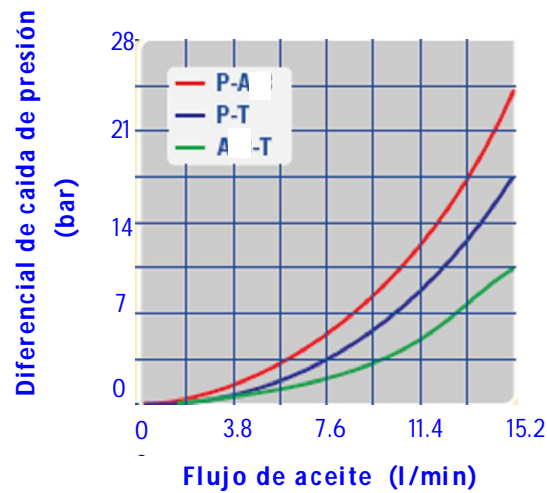


Figura 5.16 Caída de presión vs caudal de aceite [11]

En los siguientes diagramas se muestra el circuito hidráulico con los elementos que se propusieron anteriormente. Cuando el PLC mande la señal a la electroválvula esta cambiará de la posición de inicio tándem a la que se muestra en la figura 5.17 y el cilindro avanzará, la válvula mantendrá esta posición mientras que la señal esté activa en S1, cuando se deje de mandar regresará a la posición inicial la del centro y mantendrá en

retención al cilindro (figura 5.18). Cuando se necesite regresar el cilindro el PLC activará la señal a S2 (figura 5.19) y el fluido regresará al tanque haciendo retroceder al cilindro.

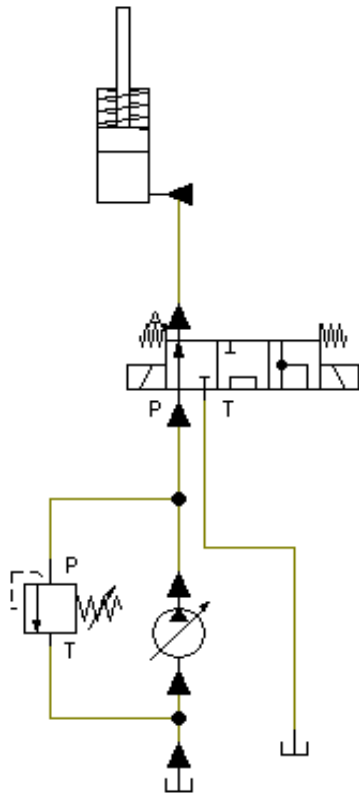


Figura 5.17 Avance del cilindro

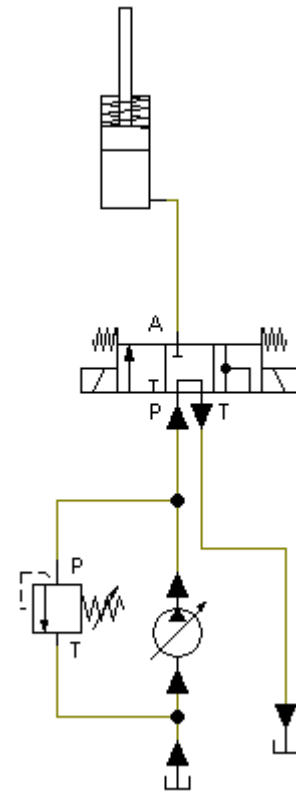


Figura 5.18 Retención del cilindro

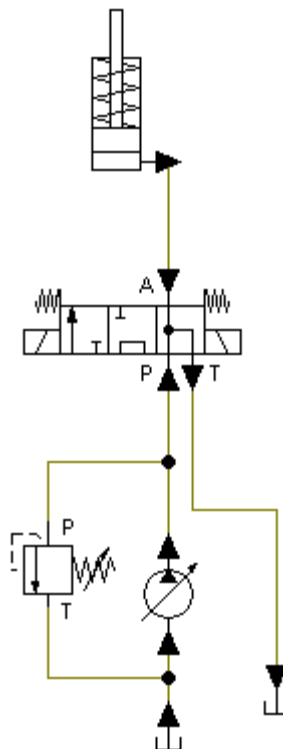


Figura 5.19 Retroceso del cilindro

5.6.3 Factores a considerar

Además de las características de los elementos del circuito hidráulico propuesto es importante tomar en cuenta los diámetros de los tubos rígidos y flexibles ya que estos inciden sobre la cuantía de la pérdida de presión del sistema. Ellos determinan fundamentalmente el grado de eficiencia del sistema, es por esto que es necesario considerar las velocidades máximas de flujo.

El caudal puede ser laminar o turbulento. Si el caudal es laminar, el líquido fluye en el tubo en capas cilíndricas y ordenadas. Las capas interiores fluyen a velocidades mayores que las capas exteriores. A partir de determinada velocidad del fluido (velocidad crítica), las partículas del fluido ya no avanzan en capas ordenadas ya que las partículas que fluyen en el centro del tubo se desvían lateralmente, lo que provoca una formación de remolinos. En consecuencia el caudal se vuelve turbulento, por lo que se pierde energía.

El coeficiente de Reynolds (Re) permite calcular el tipo de caudal que fluye en un tubo liso. Dicho coeficiente esta en función de los siguientes parámetros:

- v velocidad del flujo del líquido (m/s)
- d diámetro del tubo (m)
- ν viscosidad cinemática (m^2/s)

Para calcular el coeficiente de Reynolds debemos primero calcular la velocidad con la que el fluido se desplaza a través de la tubería con las ecuaciones (6), (7) y con la información que nos proporciona el fabricante de los elementos del sistema hidráulico.

- Q caudal de la bomba (cm³/min)
- v velocidad (cm/s)
- A área del cilindro (cm²)

$$Q = vA \rightarrow v = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$v = \frac{1000[\frac{cm^3}{min}]}{33.3[cm^2]} = 30.1[\frac{cm}{s}] = \frac{0.5cm}{s} \quad (7)$$

El tiempo que tarda el embolo para llegar al final de carrera se muestra en las ecuaciones (8) y (9):

$$v = \frac{d}{t} \rightarrow t = \frac{d}{v} \quad (8)$$

Tomando los datos de la tabla 5.1 y sustituyendo los valores:

$$t = \frac{36.2[cm]}{0.5[\frac{cm}{s}]} = 72.4[s] \quad (9)$$

Regresando al cálculo del coeficiente de Reynolds ecuaciones (9) y (10):

- $v=0.5 \frac{cm}{s}$
- $d=3/8 \text{ in} = 0.95 \text{ cm}$
- $\nu_1 = 150 \text{ SUS @ } 40^\circ\text{C} = 31.76 \text{ cSt} = 0.3176 \frac{cm^2}{s}$
- $\nu_2 = 43 \text{ SUS @ } 100^\circ\text{C} = 0.051 \text{ cSt} = 0.0507 \frac{cm^2}{s}$

$$Re_1 = \frac{vd}{\nu_1} = \frac{0.5[\frac{cm}{s}] * 0.95[cm]}{0.3176[\frac{cm^2}{s}]} = 1.49 \quad (9)$$

$$Re_2 = \frac{vd}{\nu_2} = \frac{0.5[\frac{cm}{s}] * 0.95[cm]}{0.0507[\frac{cm^2}{s}]} = 9.45 \quad (10)$$

La forma de interpretar el valor Re es el siguiente [4]:

- Si $Re < 2300$ el flujo es laminar
- Si $Re > 2300$ flujo turbulento

Además del valor de Re suelen aplicarse valores empíricos. En la práctica se aplican los siguientes valores estándar de velocidad crítica [4]:

- Tuberías de impulsión:
 - hasta 50 bar de presión de trabajo: 4.0 m/s
 - hasta 100 bar de presión de trabajo: 4.5 m/s
 - hasta 150 bar de presión de trabajo: 5.0 m/s
 - hasta 200 bar de presión de trabajo: 5.5 m/s
 - hasta 300 bar de presión de trabajo: 6.0 m/s

- Tuberías de aspiración: 1.5 m/s

- Tuberías de retorno: 2.0 m/s

En este capítulo se describió el sistema hidráulico instalado en la empresa Frankfer Reparación de Equipo pesado y se describieron los elementos hidráulicos que sería necesarios para poder implementar el control difuso en la máquina de enderezado. Además se incluyeron los cálculos realizados para asegurar el correcto funcionamiento de dichos elementos.

Capítulo 5

Sistema Hidráulico

Hidráulica significa la creación de fuerzas y movimientos mediante fluidos sometidos a presión. Los fluidos sometidos a presión son el medio para la transmisión de energía.

El estudio de la hidráulica industrial comenzó a finales del siglo XVII cuando Pascal formuló una ley que formaría la base fundamental de toda la ciencia hidráulica. El demostró que en un fluido en reposo, la presión es transmitida de igual manera en todas direcciones, en otras palabras “La presión existente en un líquido confinado actúa

igualmente en todas direcciones y lo hace formando ángulos rectos con la superficie del recipiente". La figura 5.1 ilustra la Ley de Pascal

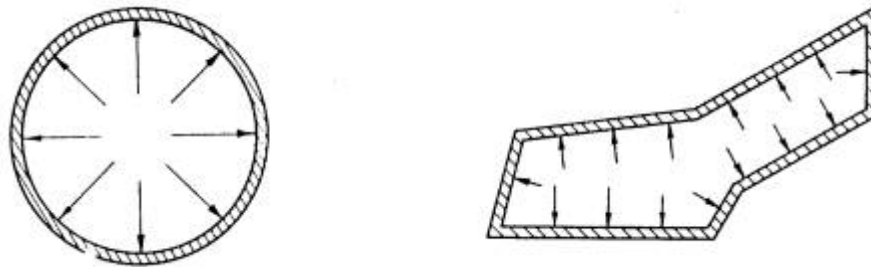


Figura 5.1 Representación ley de Pascal

Los componentes básicos de un sistema hidráulico son: bomba, filtro, recipiente de almacenamiento de aceite, válvulas, actuadores, fluido hidráulico, todos estos elementos son unidos o conectados entre si por medio de tubos y mangueras.

5.1 Bomba hidráulica

Los bombas hidráulicas (figura 5.2) convierten la energía mecánica transmitida por un motor primario (motor eléctrico, motor de combustión interna, etc.) en energía hidráulica. La acción de bombear es la misma para todas las bombas. Se genera un volumen creciente en el lado de la succión y un volumen decreciente en el lado de la presión. En un sistema hidráulico industrial, el tipo de bomba que se usa es de desplazamiento positivo, como son las bombas de paletas, engranes y pistones.

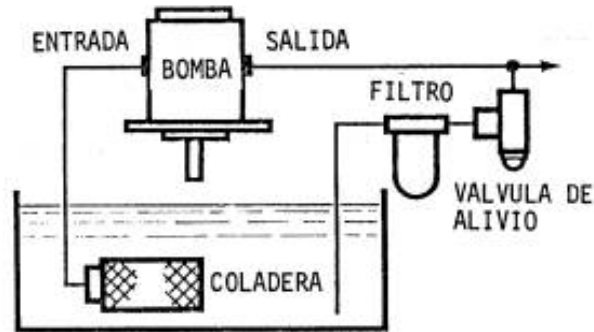


Figura 5.2 Bomba hidráulica

5.2 Válvulas

Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o el caudal del fluido enviado por una bomba hidráulica. Una válvula es un dispositivo mecánico que consiste de un cuerpo y una pieza móvil, que conecta y desconecta conductos dentro del cuerpo. Según su función las válvulas pueden dividirse en: válvulas distribuidoras, válvulas de bloqueo, válvulas de presión, válvulas de caudal, válvulas de cierre.

5.2.1 Válvulas Reguladoras de Caudal

Las aplicaciones de los reguladores de caudal (también reguladores de flujo) no están limitadas a la reducción de la velocidad de los cilindros o actuadores en general, pues además tienen gran aplicación en accionamientos retardados, temporizaciones, impulsos, etc. Los reguladores de caudal pueden ser unidireccionales y bidireccionales.

5.2.2 Válvula de aguja

En la figura 5.3 observamos una válvula de aguja. Después de entrar en el cuerpo de una válvula de aguja, el flujo gira 90° y pasa a través de una abertura que es el asiento de la punta cónica de una barra cilíndrica. En este caso el tamaño del orificio se regula variando la posición relativa de la punta cónica respecto a su asiento. La válvula de aguja es el orificio variable que se usa con mayor frecuencia en los sistemas industriales.

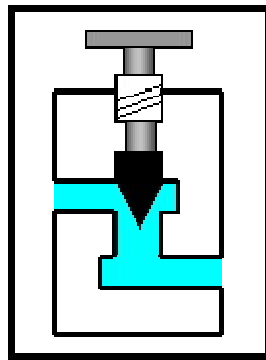


Figura 5.3 Válvula de aguja

5.3 Cilindros Hidráulicos

En cualquier aplicación la energía hidráulica disponible deberá transformarse en energía mecánica para realizar un trabajo. Los cilindros hidráulicos son los encargados de transformar la energía hidráulica a energía mecánica lineal.

En el caso de los cilindros de simple efecto figura 5.4, la presión solo actúa sobre el émbolo. En consecuencia el cilindro solamente puede trabajar en un sentido. Estos cilindros funcionan de la siguiente manera: el fluido sometido a presión entra en la cámara del lado del émbolo, en el émbolo se crea una presión por efecto de la contrafuerza (carga por peso),

una vez superada esta fuerza el cilindro avanza hasta el final de carrera. Durante el movimiento de retroceso, la cámara del lado del émbolo esta conectada con el tanque a través de la tubería y la válvula. El retroceso se produce por el propio peso y por acción del resorte [10].

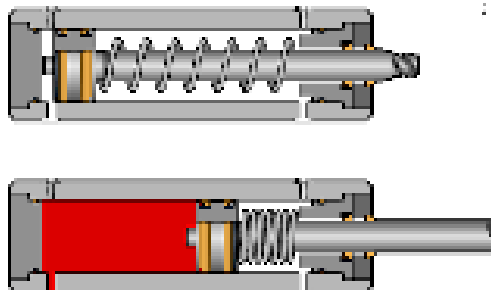


Figura 5.4 Cilindro de simple efecto

5.4 Fluido

En principio, cualquier líquido es apropiado para transmitir energía de presión. No obstante, el líquido utilizado en un sistema hidráulico tiene que cumplir ciertas funciones: transmitir la presión, lubricar las partes móviles de los equipos, disipar el calor producto de la transformación de energía, amortiguar vibraciones causadas por picos de presión, proteger ante corrosión, eliminar partículas abrasiva, además de utilizar líquidos difícilmente inflamables . Los aceites elaborados con aceites minerales, cumplen con todos los requisitos antes mencionados y por esto son los más utilizados en la industria.

5.5 Sistema de enderezado de Chasis en Frío

El principio del sistema de enderezado de chasis es el de crear esfuerzos y momentos en la estructura del chasis para enderezarlo. Estos esfuerzos son creados con

fuerzas hidráulicas producidas por cilindros colocados en torres como las ilustradas en la figura 5.5

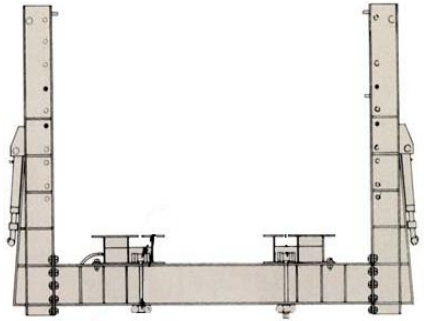


Figura 5.5 Torre sistema de enderezado de chasis

De estas torres salen unas cadenas que se enganchan al chasis las cuales, se encargan de transmitir la fuerza de los cilindros para enderezar la estructura. El sistema se encuentra contenido dentro de una fosa de concreto con el objetivo principal de darle estabilidad a las vigas de acero sobre las cuales descansa la unidad a reparar además, de facilitar la accesibilidad a todas las áreas de la unidad en reparación a los operadores.

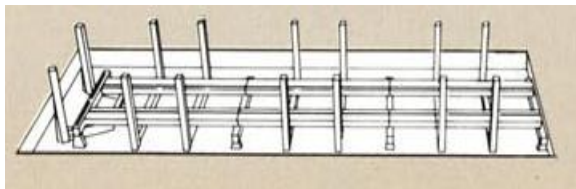


Figura 5.6 Torres del sistema de enderezado

Una vez familiarizado con los componentes y su funcionamiento, se realizó un análisis de todos los elementos instalados en el sistema incluyendo los componentes del sistema hidráulico. El sistema consta de 10 cilindros de simple efecto con una capacidad de 25 toneladas (figura 5.7) cada uno con las características se encuentran descritas en la tabla 5.1 [11].

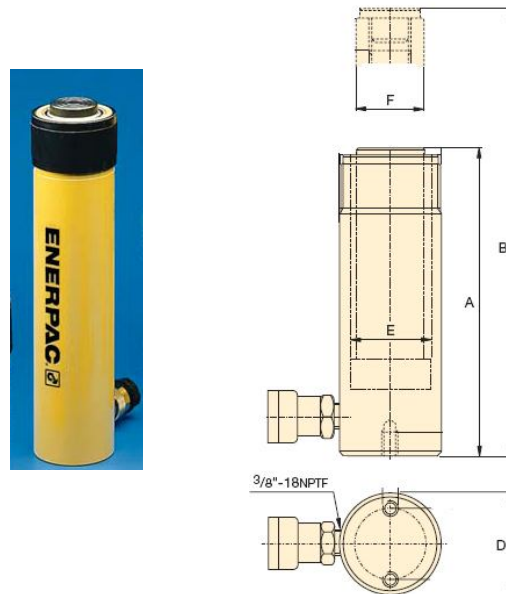


Figura 5.7 Cilindro hidráulico

Tabla 5.1 Características del cilindro

Capacidad de Cilindro [Ton]	Carrera [cm]	Área Efectiva del Cilindro [cm ²]	Volúmen de aceite [cm ³]	Altura Retraído [cm] A	Altura extendido [cm] B	Diametro exterior [cm] D	Diametro interno [cm] E	Diametro émbolo [cm] F	Peso [Kg]
25	36.2	33.3	307.25	47.6	83.86	8.6	6.5	5.72	17.7

Además de los cilindros se cuenta con una bomba manual figura 5.8 y unas válvulas de estrangulamiento que funcionan como reguladores de velocidad de los cilindros así como válvulas de cierre figura 5.9. En la tabla 5.2 se muestran las características más importantes de la bomba utilizada.



Figura 5.8 Bomba manual

Tabla 5.2 Características de bomba manual

Volúmen utilizable de aceite [l]	Presión nominal [bar]	Desplazamiento de aceite [l]	Esfuerzo máximo de bombeo [N]	Peso [Kg]
7	700	NE	489	27.6



Figura. 5.9 Válvula de aguja

El aceite utilizado en el sistema es el HF-101 con las siguientes características tabla 5.3: máxima eficiencia volumétrica de la bomba, máxima transferencia interna de calor, evita la cavitación de la bomba, contiene aditivos que evitan la oxidación y sedimentación, máxima lubricidad de la película protectora [4].

Tabla 5.3 Especificaciones del aceite

Especificaciones del aceite	
Índice de viscosidad	100
Viscosidad 100 °C	4.9/ 5.6 cSt
Viscosidad 40 °C	31.8/35.2 cSt
Viscosidad a -17 °C	2589 cSt
Densidad API	31/33
Punto de inflamación °C	205°C
Punto de fluidez °C	-31.7°C
Punto de anilina °C	99-105°C
Color de la base parafínica	azul

El sistema hidráulico que se encuentra instalado en el sistema de enderezado de chasis en frío, figura (5.10), esta conectado de la siguiente manera: se cuenta con una bomba que produce un caudal y alimenta al sistema a través de la válvula de estrangulamiento, la válvula es conectada al cilindro de simple efecto para controlar el avance del cilindro, mientras que, en ese momento la válvula 2 se encuentra cerrada. Si se quisiera dejar el cilindro en alguna posición intermedia (figura 5.12) (diferente al final de carrera) se tendría que cerrar la válvula 1 o si se quiere retroceder el cilindro se cierra la válvula 1 y se abre la válvula 2 y el cilindro retrocederá gracias a que cuenta con un resorte

interno (figura 5.13) Cuando ambas válvulas se encuentran cerradas y la bomba esta activada el fluido regresa al tanque ya que cuenta con una válvula de alivio (figura 5.11)

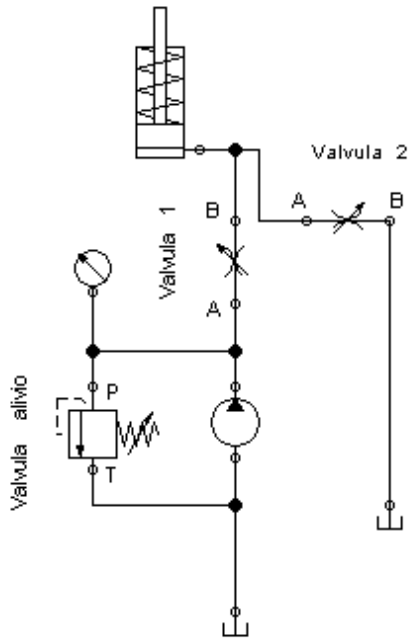


Figura 5.10 Circuito hidráulico actual

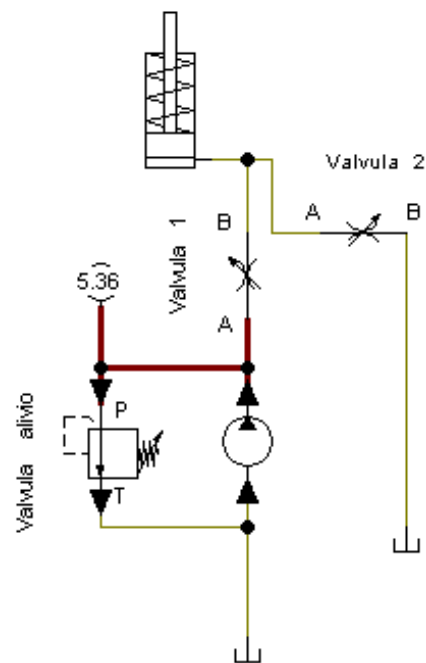


Figura 5.11 Retención cilindro

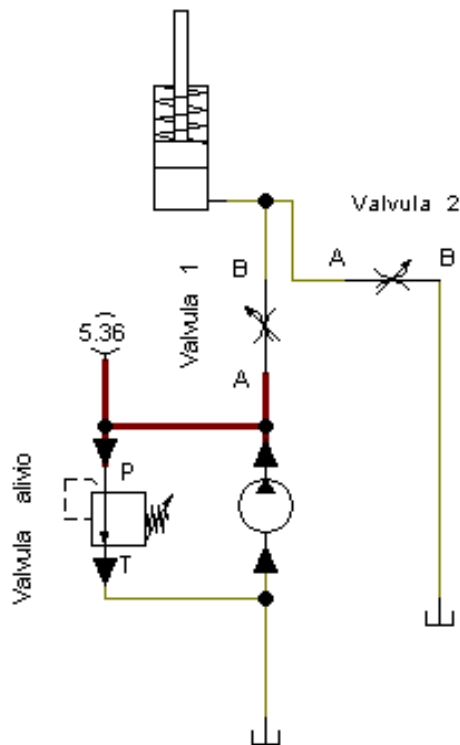


Figura 5.12 Avance del cilindro

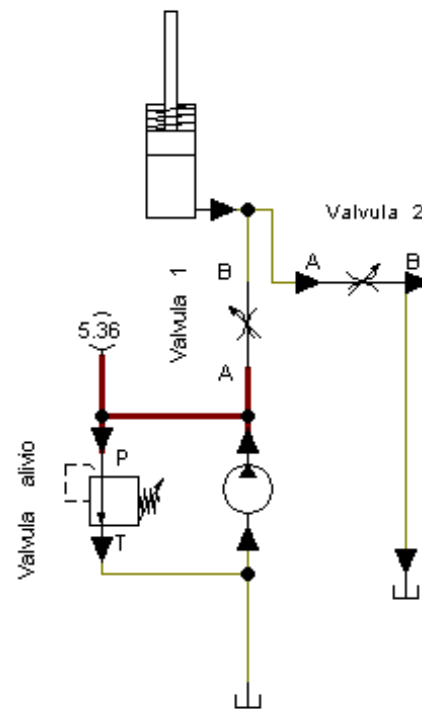


Figura 5.13 Retracción del cilindro

5.6 Sistema Hidráulico con controlador difuso

Para poder utilizar el sistema de enderezado de chasis actualmente instalado, con el control diseñado en este trabajo, se tendrían que realizar algunas modificaciones en el sistema hidráulico para que el PLC pudiera interactuar con los actuadores del sistema. A continuación se muestra las características de los elementos que se proponen:

5.6.1 Bomba eléctrica

Se propone utilizar una bomba eléctrica modelo ZU4 diseñada para manejarse remotamente a través de una válvula solenoide, tiene un motor universal de 1 fase, es ideal para cilindros de simple efecto de tamaño mediano o grande y permite tener un ciclo de trabajo con aplicaciones intermitentes. Las características de esta bomba se encuentran en la Tabla 5.4, y el diagrama de flujo relacionando el caudal con la presión se puede observar en la figura 5.14.

Tabla 5.4 Características de la bomba eléctrica

Rango de caudal de salida (l/min)				Tamaños disponibles del recipiente de aceite (litros)	Tamaño motor (KW)	Nivel de sonido (dbA)
baja presión		alta presión				
7 bar	50 bar	350 bar	700 bar			
11.5	8.8	1.2	1	4-8-10-20-40	1.25	85-90

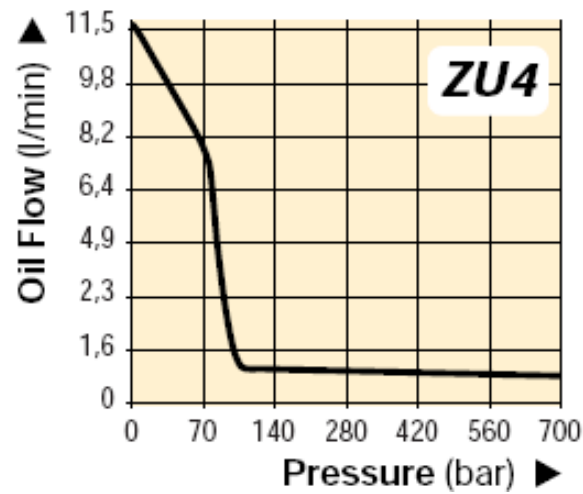


Figura 5.14 Diagrama de flujo de la bomba ZU4 [11]

5.6.2 Válvulas modulares seleccionadas por solenoide

Se propone una válvula VEF-11150-B (figura 5.15), es una válvula 3/3, estas válvulas permiten controlar cilindros de simple acción y permiten tener 3 posiciones: avance, retracción del cilindro y retención, cuentan con una válvula de alivio para proteger al sistema hidráulico. Con una configuración central en tándem, la cual permite un movimiento mínimo o la anulación del movimiento del cilindro y la descarga de la bomba, generando así una mínima acumulación de calor. En la figura 5.16 se muestra una gráfica que relaciona la caída de presión vs caudal de aceite [11].

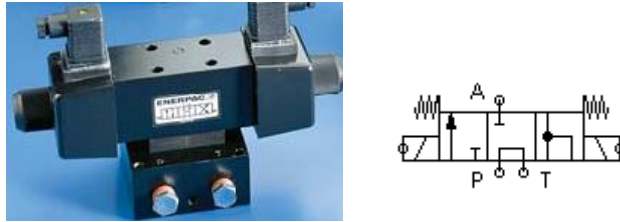


Figura. 5.15 Válvula VEF-11150-B

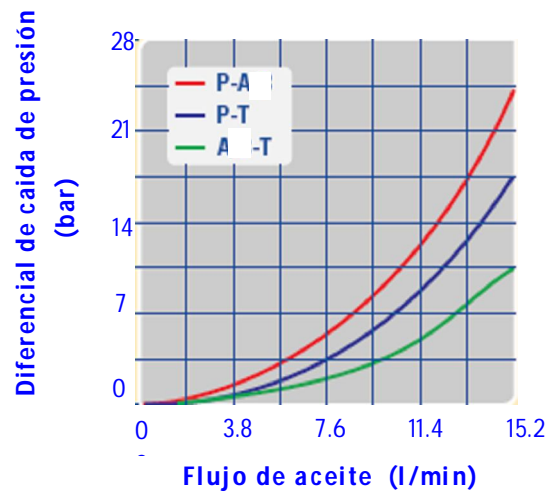


Figura 5.16 Caída de presión vs caudal de aceite [11]

En los siguientes diagramas se muestra el circuito hidráulico con los elementos que se propusieron anteriormente. Cuando el PLC mande la señal a la electroválvula esta cambiará de la posición de inicio tándem a la que se muestra en la figura 5.17 y el cilindro avanzará, la válvula mantendrá esta posición mientras que la señal esté activa en S1, cuando se deje de mandar regresará a la posición inicial la del centro y mantendrá en

retención al cilindro (figura 5.18). Cuando se necesite regresar el cilindro el PLC activará la señal a S2 (figura 5.19) y el fluido regresará al tanque haciendo retroceder al cilindro.

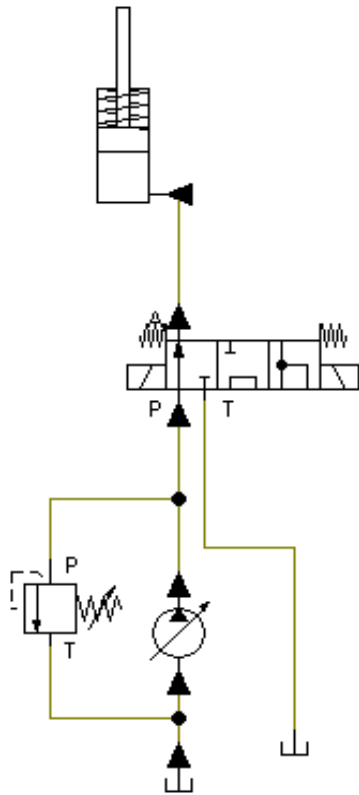


Figura 5.17 Avance del cilindro

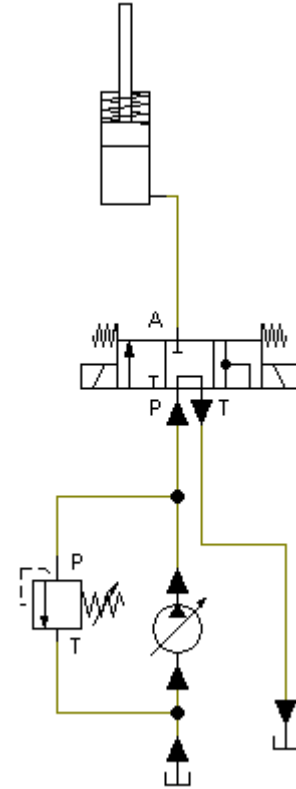


Figura 5.18 Retención del cilindro

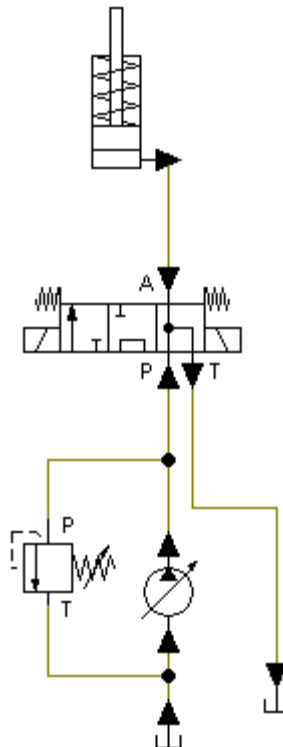


Figura 5.19 Retroceso del cilindro

5.6.3 Factores a considerar

Además de las características de los elementos del circuito hidráulico propuesto es importante tomar en cuenta los diámetros de los tubos rígidos y flexibles ya que estos inciden sobre la cuantía de la pérdida de presión del sistema. Ellos determinan fundamentalmente el grado de eficiencia del sistema, es por esto que es necesario considerar las velocidades máximas de flujo.

El caudal puede ser laminar o turbulento. Si el caudal es laminar, el líquido fluye en el tubo en capas cilíndricas y ordenadas. Las capas interiores fluyen a velocidades mayores que las capas exteriores. A partir de determinada velocidad del fluido (velocidad crítica), las partículas del fluido ya no avanzan en capas ordenadas ya que las partículas que fluyen en el centro del tubo se desvían lateralmente, lo que provoca una formación de remolinos. En consecuencia el caudal se vuelve turbulento, por lo que se pierde energía.

El coeficiente de Reynolds (Re) permite calcular el tipo de caudal que fluye en un tubo liso. Dicho coeficiente esta en función de los siguientes parámetros:

- v velocidad del flujo del líquido (m/s)
- d diámetro del tubo (m)
- ν viscosidad cinemática (m^2/s)

Para calcular el coeficiente de Reynolds debemos primero calcular la velocidad con la que el fluido se desplaza a través de la tubería con las ecuaciones (6), (7) y con la información que nos proporciona el fabricante de los elementos del sistema hidráulico.

- Q caudal de la bomba (cm³/min)
- v velocidad (cm/s)
- A área del cilindro (cm²)

$$Q = vA \rightarrow v = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$v = \frac{1000[\frac{cm^3}{min}]}{33.3[cm^2]} = 30.1[\frac{cm}{s}] = \frac{0.5cm}{s} \quad (7)$$

El tiempo que tarda el embolo para llegar al final de carrera se muestra en las ecuaciones (8) y (9):

$$v = \frac{d}{t} \rightarrow t = \frac{d}{v} \quad (8)$$

Tomando los datos de la tabla 5.1 y sustituyendo los valores:

$$t = \frac{36.2[cm]}{0.5[\frac{cm}{s}]} = 72.4[s] \quad (9)$$

Regresando al cálculo del coeficiente de Reynolds ecuaciones (9) y (10):

- $v=0.5 \frac{cm}{s}$
- $d=3/8 \text{ in} = 0.95 \text{ cm}$
- $\nu_1 = 150 \text{ SUS @ } 40^\circ\text{C} = 31.76 \text{ cSt} = 0.3176 \frac{cm^2}{s}$
- $\nu_2 = 43 \text{ SUS @ } 100^\circ\text{C} = 0.051 \text{ cSt} = 0.0507 \frac{cm^2}{s}$

$$Re_1 = \frac{vd}{\nu_1} = \frac{0.5[\frac{cm}{s}] * 0.95[cm]}{0.3176[\frac{cm^2}{s}]} = 1.49 \quad (9)$$

$$Re_2 = \frac{vd}{\nu_2} = \frac{0.5[\frac{cm}{s}] * 0.95[cm]}{0.0507[\frac{cm^2}{s}]} = 9.45 \quad (10)$$

La forma de interpretar el valor Re es el siguiente [4]:

- Si $Re < 2300$ el flujo es laminar
- Si $Re > 2300$ flujo turbulento

Además del valor de Re suelen aplicarse valores empíricos. En la práctica se aplican los siguientes valores estándar de velocidad crítica [4]:

- Tuberías de impulsión:
 - hasta 50 bar de presión de trabajo: 4.0 m/s
 - hasta 100 bar de presión de trabajo: 4.5 m/s
 - hasta 150 bar de presión de trabajo: 5.0 m/s
 - hasta 200 bar de presión de trabajo: 5.5 m/s
 - hasta 300 bar de presión de trabajo: 6.0 m/s

- Tuberías de aspiración: 1.5 m/s

- Tuberías de retorno: 2.0 m/s

En este capítulo se describió el sistema hidráulico instalado en la empresa Frankfer Reparación de Equipo pesado y se describieron los elementos hidráulicos que sería necesarios para poder implementar el control difuso en la máquina de enderezado. Además se incluyeron los cálculos realizados para asegurar el correcto funcionamiento de dichos elementos.

Capítulo 5

Sistema Hidráulico

Hidráulica significa la creación de fuerzas y movimientos mediante fluidos sometidos a presión. Los fluidos sometidos a presión son el medio para la transmisión de energía.

El estudio de la hidráulica industrial comenzó a finales del siglo XVII cuando Pascal formuló una ley que formaría la base fundamental de toda la ciencia hidráulica. El demostró que en un fluido en reposo, la presión es transmitida de igual manera en todas direcciones, en otras palabras “La presión existente en un líquido confinado actúa

igualmente en todas direcciones y lo hace formando ángulos rectos con la superficie del recipiente". La figura 5.1 ilustra la Ley de Pascal

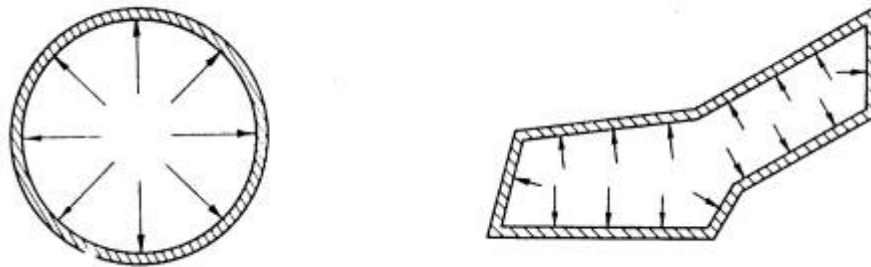


Figura 5.1 Representación ley de Pascal

Los componentes básicos de un sistema hidráulico son: bomba, filtro, recipiente de almacenamiento de aceite, válvulas, actuadores, fluido hidráulico, todos estos elementos son unidos o conectados entre si por medio de tubos y mangueras.

5.1 Bomba hidráulica

Los bombas hidráulicas (figura 5.2) convierten la energía mecánica transmitida por un motor primario (motor eléctrico, motor de combustión interna, etc.) en energía hidráulica. La acción de bombear es la misma para todas las bombas. Se genera un volumen creciente en el lado de la succión y un volumen decreciente en el lado de la presión. En un sistema hidráulico industrial, el tipo de bomba que se usa es de desplazamiento positivo, como son las bombas de paletas, engranes y pistones.

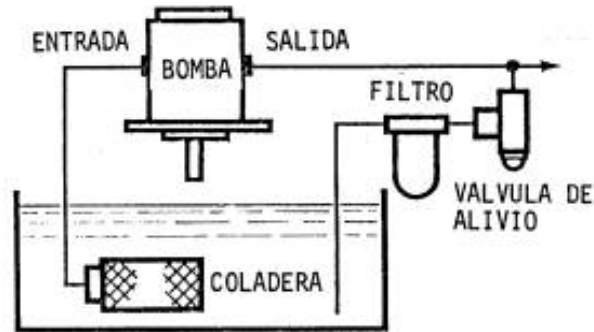


Figura 5.2 Bomba hidráulica

5.2 Válvulas

Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o el caudal del fluido enviado por una bomba hidráulica. Una válvula es un dispositivo mecánico que consiste de un cuerpo y una pieza móvil, que conecta y desconecta conductos dentro del cuerpo. Según su función las válvulas pueden dividirse en: válvulas distribuidoras, válvulas de bloqueo, válvulas de presión, válvulas de caudal, válvulas de cierre.

5.2.1 Válvulas Reguladoras de Caudal

Las aplicaciones de los reguladores de caudal (también reguladores de flujo) no están limitadas a la reducción de la velocidad de los cilindros o actuadores en general, pues además tienen gran aplicación en accionamientos retardados, temporizaciones, impulsos, etc. Los reguladores de caudal pueden ser unidireccionales y bidireccionales.

5.2.2 Válvula de aguja

En la figura 5.3 observamos una válvula de aguja. Después de entrar en el cuerpo de una válvula de aguja, el flujo gira 90° y pasa a través de una abertura que es el asiento de la punta cónica de una barra cilíndrica. En este caso el tamaño del orificio se regula variando la posición relativa de la punta cónica respecto a su asiento. La válvula de aguja es el orificio variable que se usa con mayor frecuencia en los sistemas industriales.

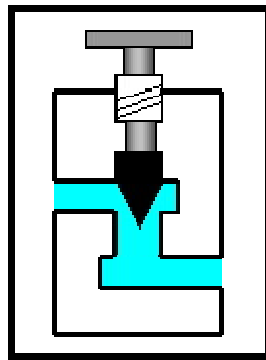


Figura 5.3 Válvula de aguja

5.3 Cilindros Hidráulicos

En cualquier aplicación la energía hidráulica disponible deberá transformarse en energía mecánica para realizar un trabajo. Los cilindros hidráulicos son los encargados de transformar la energía hidráulica a energía mecánica lineal.

En el caso de los cilindros de simple efecto figura 5.4, la presión solo actúa sobre el émbolo. En consecuencia el cilindro solamente puede trabajar en un sentido. Estos cilindros funcionan de la siguiente manera: el fluido sometido a presión entra en la cámara del lado del émbolo, en el émbolo se crea una presión por efecto de la contrafuerza (carga por peso),

una vez superada esta fuerza el cilindro avanza hasta el final de carrera. Durante el movimiento de retroceso, la cámara del lado del émbolo esta conectada con el tanque a través de la tubería y la válvula. El retroceso se produce por el propio peso y por acción del resorte [10].

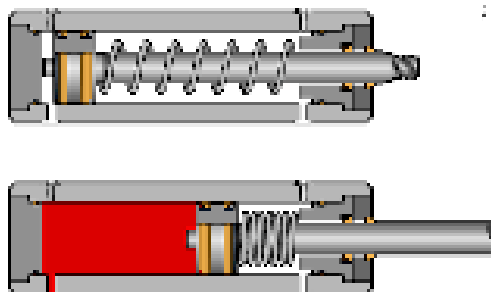


Figura 5.4 Cilindro de simple efecto

5.4 Fluido

En principio, cualquier líquido es apropiado para transmitir energía de presión. No obstante, el líquido utilizado en un sistema hidráulico tiene que cumplir ciertas funciones: transmitir la presión, lubricar las partes móviles de los equipos, disipar el calor producto de la transformación de energía, amortiguar vibraciones causadas por picos de presión, proteger ante corrosión, eliminar partículas abrasiva, además de utilizar líquidos difícilmente inflamables . Los aceites elaborados con aceites minerales, cumplen con todos los requisitos antes mencionados y por esto son los más utilizados en la industria.

5.5 Sistema de enderezado de Chasis en Frío

El principio del sistema de enderezado de chasis es el de crear esfuerzos y momentos en la estructura del chasis para enderezarlo. Estos esfuerzos son creados con

fuerzas hidráulicas producidas por cilindros colocados en torres como las ilustradas en la figura 5.5

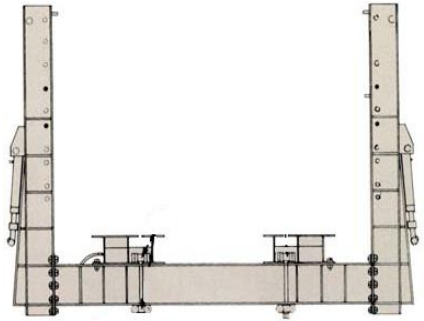


Figura 5.5 Torre sistema de enderezado de chasis

De estas torres salen unas cadenas que se enganchan al chasis las cuales, se encargan de transmitir la fuerza de los cilindros para enderezar la estructura. El sistema se encuentra contenido dentro de una fosa de concreto con el objetivo principal de darle estabilidad a las vigas de acero sobre las cuales descansa la unidad a reparar además, de facilitar la accesibilidad a todas las áreas de la unidad en reparación a los operadores.

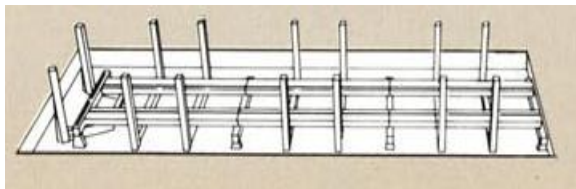


Figura 5.6 Torres del sistema de enderezado

Una vez familiarizado con los componentes y su funcionamiento, se realizó un análisis de todos los elementos instalados en el sistema incluyendo los componentes del sistema hidráulico. El sistema consta de 10 cilindros de simple efecto con una capacidad de 25 toneladas (figura 5.7) cada uno con las características se encuentran descritas en la tabla 5.1 [11].

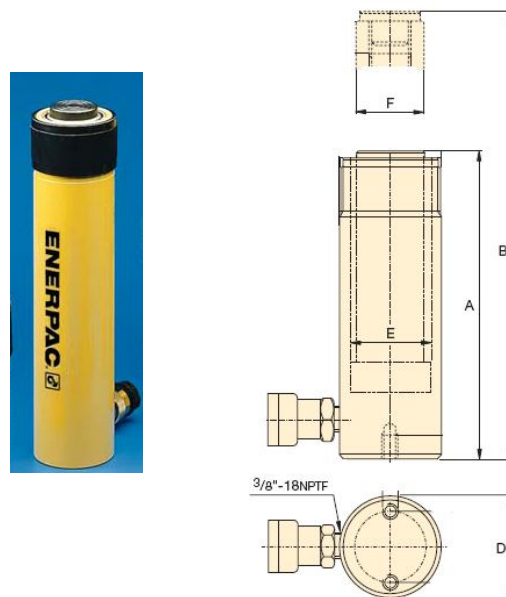


Figura 5.7 Cilindro hidráulico

Tabla 5.1 Características del cilindro

Capacidad de Cilindro [Ton]	Carrera [cm]	Área Efectiva del Cilindro [cm ²]	Volúmen de aceite [cm ³]	Altura Retraído [cm] A	Altura extendido [cm] B	Diametro exterior [cm] D	Diametro interno [cm] E	Diametro émbolo [cm] F	Peso [Kg]
25	36.2	33.3	307.25	47.6	83.86	8.6	6.5	5.72	17.7

Además de los cilindros se cuenta con una bomba manual figura 5.8 y unas válvulas de estrangulamiento que funcionan como reguladores de velocidad de los cilindros así como válvulas de cierre figura 5.9. En la tabla 5.2 se muestran las características más importantes de la bomba utilizada.



Figura 5.8 Bomba manual

Tabla 5.2 Características de bomba manual

Volúmen utilizable de aceite [l]	Presión nominal [bar]	Desplazamiento de aceite [l]	Esfuerzo máximo de bombeo [N]	Peso [Kg]
7	700	NE	489	27.6



Figura. 5.9 Válvula de aguja

El aceite utilizado en el sistema es el HF-101 con las siguientes características tabla 5.3: máxima eficiencia volumétrica de la bomba, máxima transferencia interna de calor, evita la cavitación de la bomba, contiene aditivos que evitan la oxidación y sedimentación, máxima lubricidad de la película protectora [4].

Tabla 5.3 Especificaciones del aceite

Especificaciones del aceite	
Índice de viscosidad	100
Viscosidad 100 °C	4.9/ 5.6 cSt
Viscosidad 40 °C	31.8/35.2 cSt
Viscosidad a -17 °C	2589 cSt
Densidad API	31/33
Punto de inflamación °C	205°C
Punto de fluidez °C	-31.7°C
Punto de anilina °C	99-105°C
Color de la base parafínica	azul

El sistema hidráulico que se encuentra instalado en el sistema de enderezado de chasis en frío, figura (5.10), esta conectado de la siguiente manera: se cuenta con una bomba que produce un caudal y alimenta al sistema a través de la válvula de estrangulamiento, la válvula es conectada al cilindro de simple efecto para controlar el avance del cilindro, mientras que, en ese momento la válvula 2 se encuentra cerrada. Si se quisiera dejar el cilindro en alguna posición intermedia (figura 5.12) (diferente al final de carrera) se tendría que cerrar la válvula 1 o si se quiere retroceder el cilindro se cierra la válvula 1 y se abre la válvula 2 y el cilindro retrocederá gracias a que cuenta con un resorte

interno (figura 5.13) Cuando ambas válvulas se encuentran cerradas y la bomba esta activada el fluido regresa al tanque ya que cuenta con una válvula de alivio (figura 5.11)

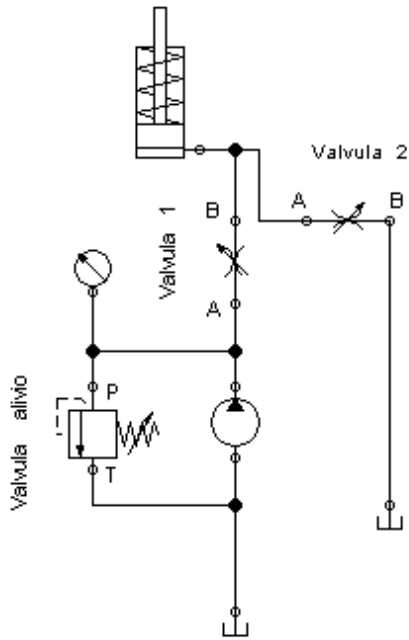


Figura 5.10 Circuito hidráulico actual

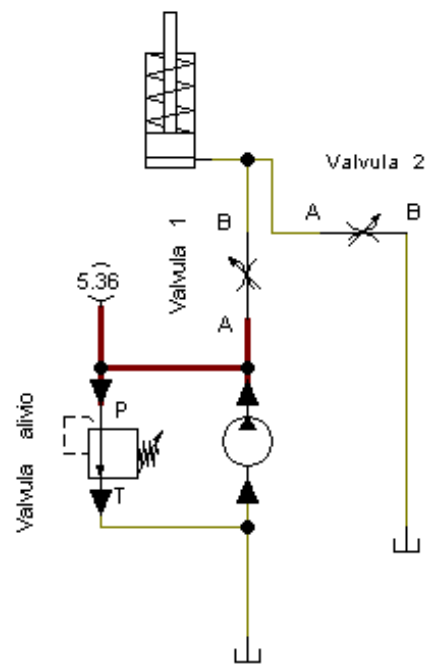


Figura 5.11 Retención cilindro

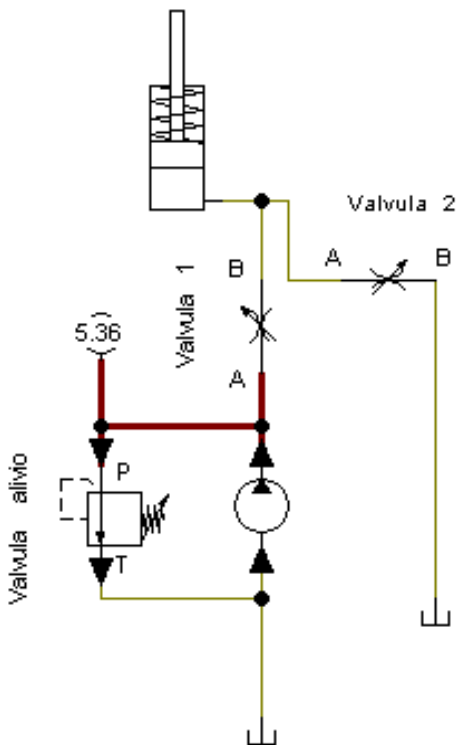


Figura 5.12 Avance del cilindro

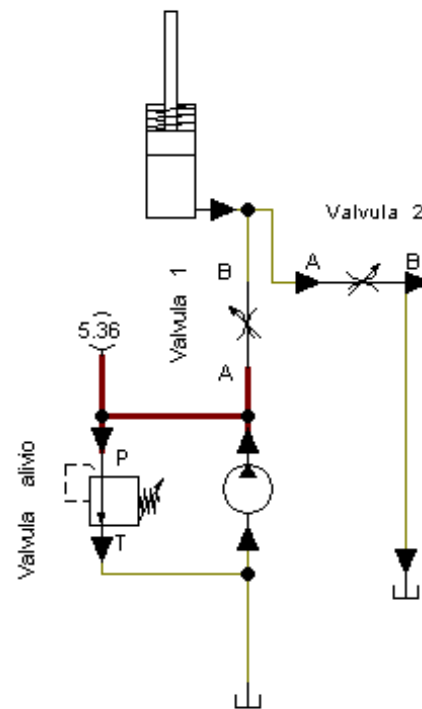


Figura 5.13 Retracción del cilindro

5.6 Sistema Hidráulico con controlador difuso

Para poder utilizar el sistema de enderezado de chasis actualmente instalado, con el control diseñado en este trabajo, se tendrían que realizar algunas modificaciones en el sistema hidráulico para que el PLC pudiera interactuar con los actuadores del sistema. A continuación se muestra las características de los elementos que se proponen:

5.6.1 Bomba eléctrica

Se propone utilizar una bomba eléctrica modelo ZU4 diseñada para manejarse remotamente a través de una válvula solenoide, tiene un motor universal de 1 fase, es ideal para cilindros de simple efecto de tamaño mediano o grande y permite tener un ciclo de trabajo con aplicaciones intermitentes. Las características de esta bomba se encuentran en la Tabla 5.4, y el diagrama de flujo relacionando el caudal con la presión se puede observar en la figura 5.14.

Tabla 5.4 Características de la bomba eléctrica

Rango de caudal de salida (l/min)				Tamaños disponibles del recipiente de aceite (litros)	Tamaño motor (KW)	Nivel de sonido (dbA)
baja presión		alta presión				
7 bar	50 bar	350 bar	700 bar			
11.5	8.8	1.2	1	4-8-10-20-40	1.25	85-90

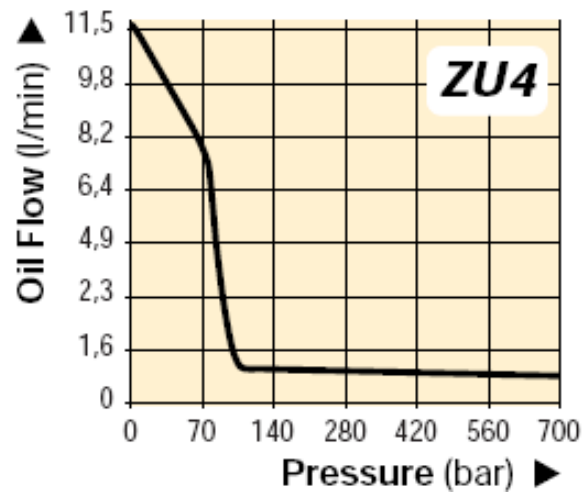


Figura 5.14 Diagrama de flujo de la bomba ZU4 [11]

5.6.2 Válvulas modulares seleccionadas por solenoide

Se propone una válvula VEF-11150-B (figura 5.15), es una válvula 3/3, estas válvulas permiten controlar cilindros de simple acción y permiten tener 3 posiciones: avance, retracción del cilindro y retención, cuentan con una válvula de alivio para proteger al sistema hidráulico. Con una configuración central en tándem, la cual permite un movimiento mínimo o la anulación del movimiento del cilindro y la descarga de la bomba, generando así una mínima acumulación de calor. En la figura 5.16 se muestra una gráfica que relaciona la caída de presión vs caudal de aceite [11].

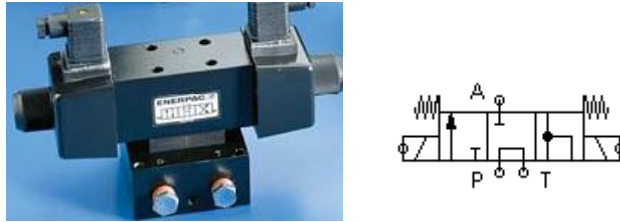


Figura. 5.15 Válvula VEF-11150-B

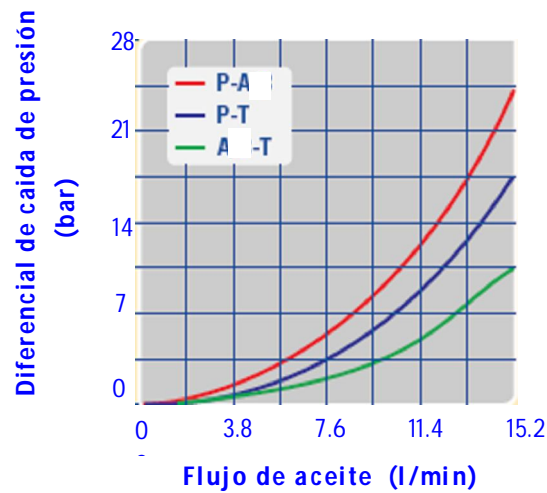


Figura 5.16 Caída de presión vs caudal de aceite [11]

En los siguientes diagramas se muestra el circuito hidráulico con los elementos que se propusieron anteriormente. Cuando el PLC mande la señal a la electroválvula esta cambiará de la posición de inicio tándem a la que se muestra en la figura 5.17 y el cilindro avanzará, la válvula mantendrá esta posición mientras que la señal esté activa en S1, cuando se deje de mandar regresará a la posición inicial la del centro y mantendrá en

retención al cilindro (figura 5.18). Cuando se necesite regresar el cilindro el PLC activará la señal a S2 (figura 5.19) y el fluido regresará al tanque haciendo retroceder al cilindro.

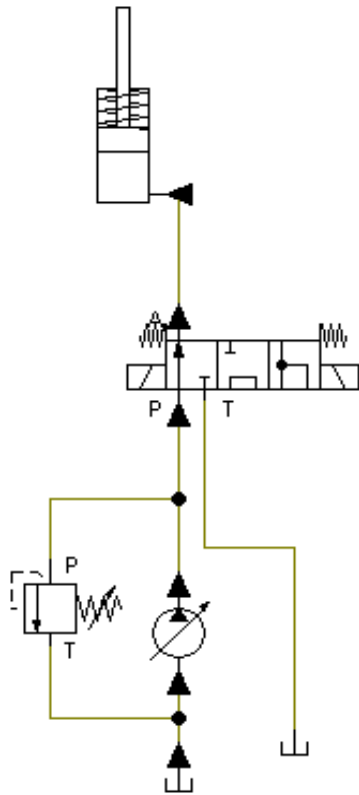


Figura 5.17 Avance del cilindro

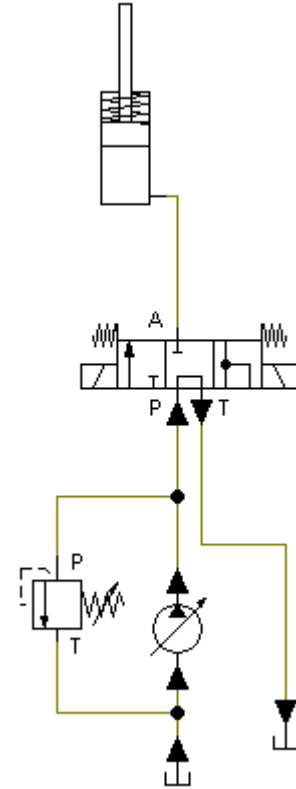


Figura 5.18 Retención del cilindro

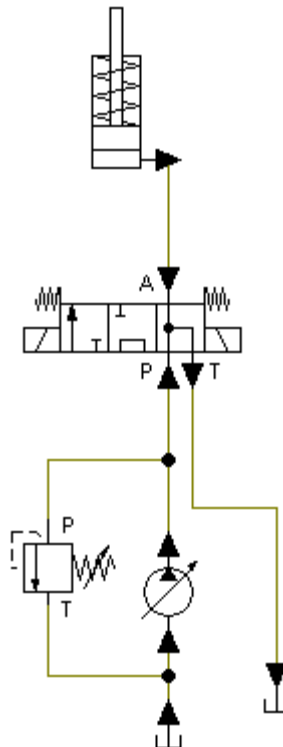


Figura 5.19 Retroceso del cilindro

5.6.3 Factores a considerar

Además de las características de los elementos del circuito hidráulico propuesto es importante tomar en cuenta los diámetros de los tubos rígidos y flexibles ya que estos inciden sobre la cuantía de la pérdida de presión del sistema. Ellos determinan fundamentalmente el grado de eficiencia del sistema, es por esto que es necesario considerar las velocidades máximas de flujo.

El caudal puede ser laminar o turbulento. Si el caudal es laminar, el líquido fluye en el tubo en capas cilíndricas y ordenadas. Las capas interiores fluyen a velocidades mayores que las capas exteriores. A partir de determinada velocidad del fluido (velocidad crítica), las partículas del fluido ya no avanzan en capas ordenadas ya que las partículas que fluyen en el centro del tubo se desvían lateralmente, lo que provoca una formación de remolinos. En consecuencia el caudal se vuelve turbulento, por lo que se pierde energía.

El coeficiente de Reynolds (Re) permite calcular el tipo de caudal que fluye en un tubo liso. Dicho coeficiente esta en función de los siguientes parámetros:

- v velocidad del flujo del líquido (m/s)
- d diámetro del tubo (m)
- ν viscosidad cinemática (m^2/s)

Para calcular el coeficiente de Reynolds debemos primero calcular la velocidad con la que el fluido se desplaza a través de la tubería con las ecuaciones (6), (7) y con la información que nos proporciona el fabricante de los elementos del sistema hidráulico.

- Q caudal de la bomba (cm³/min)
- v velocidad (cm/s)
- A área del cilindro (cm²)

$$Q = vA \rightarrow v = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$v = \frac{1000[\frac{cm^3}{min}]}{33.3[cm^2]} = 30.1[\frac{cm}{s}] = \frac{0.5cm}{s} \quad (7)$$

El tiempo que tarda el embolo para llegar al final de carrera se muestra en las ecuaciones (8) y (9):

$$v = \frac{d}{t} \rightarrow t = \frac{d}{v} \quad (8)$$

Tomando los datos de la tabla 5.1 y sustituyendo los valores:

$$t = \frac{36.2[cm]}{0.5[\frac{cm}{s}]} = 72.4[s] \quad (9)$$

Regresando al cálculo del coeficiente de Reynolds ecuaciones (9) y (10):

- $v=0.5 \frac{cm}{s}$
- $d=3/8 \text{ in} = 0.95 \text{ cm}$
- $\nu_1 = 150 \text{ SUS @ } 40^\circ\text{C} = 31.76 \text{ cSt} = 0.3176 \frac{cm^2}{s}$
- $\nu_2 = 43 \text{ SUS @ } 100^\circ\text{C} = 0.051 \text{ cSt} = 0.0507 \frac{cm^2}{s}$

$$Re_1 = \frac{vd}{\nu_1} = \frac{0.5[\frac{cm}{s}] * 0.95[cm]}{0.3176[\frac{cm^2}{s}]} = 1.49 \quad (9)$$

$$Re_2 = \frac{vd}{\nu_2} = \frac{0.5[\frac{cm}{s}] * 0.95[cm]}{0.0507[\frac{cm^2}{s}]} = 9.45 \quad (10)$$

La forma de interpretar el valor Re es el siguiente [4]:

- Si $Re < 2300$ el flujo es laminar
- Si $Re > 2300$ flujo turbulento

Además del valor de Re suelen aplicarse valores empíricos. En la práctica se aplican los siguientes valores estándar de velocidad crítica [4]:

- Tuberías de impulsión:
 - hasta 50 bar de presión de trabajo: 4.0 m/s
 - hasta 100 bar de presión de trabajo: 4.5 m/s
 - hasta 150 bar de presión de trabajo: 5.0 m/s
 - hasta 200 bar de presión de trabajo: 5.5 m/s
 - hasta 300 bar de presión de trabajo: 6.0 m/s

- Tuberías de aspiración: 1.5 m/s

- Tuberías de retorno: 2.0 m/s

En este capítulo se describió el sistema hidráulico instalado en la empresa Frankfer Reparación de Equipo pesado y se describieron los elementos hidráulicos que sería necesarios para poder implementar el control difuso en la máquina de enderezado. Además se incluyeron los cálculos realizados para asegurar el correcto funcionamiento de dichos elementos.