

DISEÑO DETALLADO DE BANCO DIDÁCTICO DEL SISTEMA HIDRÁULICO
DEL HELICÓPTERO BELL 212 /412

JOSÉ LEONARDO CAÑÓN SALDARRIAGA

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AERONÁUTICA
BOGOTA
2007

DISEÑO DETALLADO DE BANCO DIDÁCTICO DEL SISTEMA HIDRÁULICO
DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

JOSÉ LEONARDO CAÑÓN SALDARRIAGA

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Aeronáutico

Asesor:

ING. DAVID FERNANDO MUÑOZ

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AERONÁUTICA
BOGOTÁ
2007

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a los seres que más amo en el mundo:

A mis padres José Darío Cañon y Julia Helena Saldarriaga que me dieron la vida y han estado conmigo todo momento.

A mis hermanas Vanesa y Andrea por estar conmigo y apoyarme siempre.

José Leonardo Cañon Saldarriaga

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más francas muestras de agradecimiento:

A ti Dios, por enseñarme el camino correcto de la vida, guiándome y fortaleciéndome cada día y de regalarme una familia maravillosa.

A mis Padres y mis Hermanas por creer y confiar siempre en mí, apoyándome en todas las decisiones que he tomado en la vida.

A mis maestros, en especial al Ing. David Fernando Muñoz, por su dirección, paciencia, entrega, consejos y por compartir sus amplios conocimientos y experiencia que me permitieron alcanzar los objetivos de este proyecto de grado.

En general a todas las instituciones, bibliotecas y empresas que de alguna forma contribuyeron a facilitarme acceso a la información requerida y alcanzar los objetivos trazados en esta tesis.

A mis amigos y compañeros, por el apoyo y motivación que de ellos he recibido.

José Leonardo Cañon Saldarriaga

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 TITULO DEL PROYECTO	3
1.2 ANTECEDENTES	3
1.3 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.4 JUSTIFICACIÓN	5
2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.1 OBJETIVO GENERAL	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	7
3.1 ALCANCES.....	7
3.2 LIMITACIONES	7
4. MARCO TEÓRICO	8

4.1	ELECTRO-HIDRÁULICA	8
4.1.1	Electro – válvulas.	8
4.1.2	Ventajas de la Electro-hidráulica	9
4.1.3	Diseño de un Sistema Electro-hidráulico	9
4.1.5	Simbología Eléctrica.	12
4.1.6	Control Electro-hidráulico.	15
4.1.7	Tipos de Control Electro-hidráulico.....	15
4.2	SERVO HIDRÁULICA	16
4.2.1	Servo-válvulas	16
4.3	HIDRÁULICA PROPORCIONAL.....	17
4.3.1	Válvulas Proporcionales.:	17
4.3.2	Solenoides Proporcionales	17
4.3.3	Sensores de Posición	21
4.3.4	Amplificadores	21
4.3.5	Válvulas Direccionales Proporcionales.....	27
5.	MARCO CONCEPTUAL	32
5.1	DESCRIPCIÓN SISTEMA HIDRÁULICO HELICÓPTERO BELL 212/412 .	32
5.2	COMPONENTES DEL SISTEMA HIDRÁULICO	35
5.2.1	Tanques.....	35
5.2.2	Bombas.	36
5.2.3	Conjunto Integrado de Válvula y Filtros	39
5.2.4	Filtro de Presión.	40
5.2.5	Válvula de Alivio de Presión.	41
5.2.6	Válvula Solenoide	41

5.2.7	Filtro de Retorno	43
5.2.8	Válvula “Shutoff” de Retorno	43
5.2.9	Sensado de Presión	44
5.2.10	Switch de Temperatura.....	47
5.2.11	Conjunto de Válvula Cheque Operada por Presión.....	47
5.2.12	Servo-actuadores	48
5.2.14	Sistema Hidráulico de Freno del Rotor Principal	55
5.2.15	Acumuladores.....	58
5.2.16	Líneas y Tuberías.....	58
5.2.17	Fluido Hidráulico MIL-H-5606	58
5.3	CONTROLES DE VUELO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412.....	59
5.3.1	Sistema de Control del Colectivo.....	60
5.3.2	SISTEMAS DE CONTROL DEL CÍCLICO.....	64
5.3.3	Sistema de Control de Antitorsión	68
6.	DISEÑO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO DEL BANCO	71
6.1	ARGUMENTOS PRELIMINARES	71
6.1.1	Similitudes Respecto al Sistema Hidráulico del Helicóptero.....	72
6.1.2	Unidades de Mando.....	72
6.2	DISEÑO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO	73
6.2.1	Diseño de Diagramas y Esquemas del Circuito.....	73
6.2.2	Colores en el Circuito Hidráulico	74
6.2.3	Descripción y Componentes del Sistema Hidráulico	74
6.2.4	Descripción y Operación del Sistema N° 1	81
6.2.5	Descripción y Operación del Sistema N° 2	85
6.2.6	Sistema de Simulación de Fallos.....	88

7.	CÁLCULOS DE DISEÑO Y ELECCIÓN DE COMPONENTES	96
7.1	CÁLCULO DE ACTUADORES	96
7.2	CÁLCULO DE LA BOMBA Y EL MOTOR	99
7.2.1	Diseño del Sistema de Transmisión	102
7.3	CÁLCULO DEL ACUMULADOR	116
7.4	CÁLCULO DEL ELEMENTO FILTRANTE	119
7.5	SELECCIÓN DEL FLUIDO HIDRÁULICO	121
7.6	CÁLCULO DEL TANQUE	123
7.7	CÁLCULO DE TUBERÍAS Y MANGUERAS	124
7.7.1	Tubería Rígida.....	127
7.7.2	Tubería flexible	128
7.8	CÁLCULO DEL FRENO DE DISCO	129
7.8.1	Cálculo del Eje.....	134
7.9	SELECCIÓN DE VÁLVULAS Y COMPONENTES.....	137
7.9.1	Válvulas Direccionales Controladas por Solenoide	137
7.9.2	Sistema de Control Proporcional	139
7.9.3	Válvulas Cheque	140
7.9.4	Válvulas de Alivio de Presión	141
7.9.5	Válvulas Reductoras de Presión.....	141
7.9.6	Válvulas Reguladoras de Caudal	141

7.9.7	Instrumentos de Medición.....	142
7.9.8	Manifolds	143
7.10	SELECCIÓN DE ACOPLES Y CONECTORES	144
7.10.1	Acoples en Tanques	144
7.10.2	Acoples para las Bombas	145
7.10.3	Acoples de Válvulas Solenoide 2/2 N/C, 2/2 N/A, 3/2 N/A y 4/2 N/C....	145
7.10.4	Acoples para Filtros	146
7.10.5	Acoples para Válvulas de Alivio.....	146
7.10.6	Válvula Reductora de Presión	147
7.10.7	Flujómetro.....	147
7.10.8	Válvula Reguladora de Caudal	147
7.10.9	Válvula Cheque	148
7.10.10	Acoples Rápidos	148
7.10.11	Acoples para Acumuladores	148
7.10.12	Acoples de Manifolds	149
7.10.13	Acoples de Actuadores	150
7.11	CÁLCULO DE PÉRDIDAS	150
7.11.1	Pérdidas en el Sistema N° 1	152
7.11.2	Pérdidas en el Sistema N° 2.....	153
7.12	DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO	154
7.12.1	Control y Protección para los Motores Eléctricos.	155
7.12.2	Transformador para el Control Electro-Hidráulico.	160
8.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO.....	163
8.1	ESTRUCTURA PRINCIPAL.....	163

8.1.1	Conjunto Principal	169
8.1.2	Conjunto de Actuadores	170
8.1.3	Conjunto Inferior	171
8.1.4	Conjunto Superior.....	172
8.2	NUMERO DE PARTES E IDENTIFICACIÓN DE LAS PIEZAS DE LA ESTRUCTURA	173
8.2.1	Identificación Conjunto Principal.....	173
8.2.2	Identificación Conjunto de Actuadores	174
8.2.3	Identificación Conjunto Superior	174
8.2.4	Identificación Estructura Inferior	175
8.2.5	Identificación Tanques.....	175
8.2.6	Identificación de Piezas Diseñadas para el Montaje de Elementos.....	176
8.3	PROCESO DE ENSAMBLE DEL BANCO	176
9.	EVALUACIÓN FINANCIERA Y COTIZACIONES.....	177
9.1	ELEMENTOS ESTRUCTURALES	177
9.2	Componentes Hidráulicos	180
9.3	Componentes Eléctricos	182
9.4	COMPONENTES MECÁNICOS DEL BANCO	183
9.5	CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA.....	184
10.	GUÍAS DE LABORATORIO	185
10.1	GUÍA Nº 1 – GENERALIDADES DEL SISTEMA HIDRÁULICO.....	185
10.2	GUÍA Nº 2 – SIMULACIÓN DE FALLOS.....	185

ANEXO 1 – PLANOS DE INGENIERÍA	186
ANEXO 2 – CATÁLOGOS DE COMPONENTES	187
ANEXO 3 – GUÍAS DE LABORATORIO	189
ANEXO 4 – MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA ESTRUCTURA	210
ANEXO 5 – MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	236
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	237
BIBLIOGRAFÍA.....	239

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.0 Sección de control de señales y potencia hidráulica	9
Figura 4.1 Solenoide proporcional	18
Figura 4.2 Curvas típicas de la carrera de dos tipos de solenoides	18
Figura 4.3 Relación fuerza del solenoide vs. Corriente	19
Figura 4.4 Fuerza del solenoide vs. Fuerza del resorte	19
Figura 4.5 Diagrama de retroalimentación de válvulas con sensor de posición	20
Figura 4.6 Superposición del spool	23
Figura 4.7 Características de la compensación del punto muerto	23
Figura 4.8 Ajuste de rampa para una señal de salida	24
Figura 4.9 Reconocimiento del cuadrante	25
Figura 4.10 Modulación del pulso	26
Figura 4.11 Corte de válvula proporcional direccional sin Retroalimentación	27
Figura 4.12 Configuraciones típicas del spool	28
Figura 4.13 Amplificador en v. proporcionales direccionales sin Retroalimentación	29
Figura 4.14 válvula proporcional direccional con retroalimentación	30
Figura 4.15 Amplificador en v. proporcionales direccionales con Retroalimentación	31
Figura 5.0 Sistema Hidráulico del Helicóptero BELL 212	33
Figura 5.1 Sistema Hidráulico de Control	34
Figura 5.2 Sección Transversal de la Bomba	38
Figura 5.3 Acción del Pistón	38
Figura 5.4 Función de la Guía	38
Figura 5.5 Operación del Compensador	39
Figura 5.6 Esquemático del Sistema Hidráulico	40

Figura 5.7 Indicador de presión y temperatura	45
Figura 5.8 Circuito de indicación de temperatura	45
Figura 5.9 Válvula cheque operación por presión	48
Figura 5.10 Servo-actuador hidráulico	49
Figura 5.11 Esquema del servoactuador hidráulico	50
Figura 5.12 Servo-actuador doble (Cíclico)	52
Figura 5.13 Servo-actuador en condición de falla sistema N° 2	53
Figura 5.14 Servo-actuador sencillo (Direccional)	55
Figura 5.15 Sistema de Freno de Rotor	56
Figura 5.16 Sistema de Controles de Vuelo	59
Figura 5.17 Sistema de Control de Vuelo Colectivo	60
Figura 5.18 Sistema de Control de Vuelo Colectivo	62
Figura 5.19 Movimiento del colectivo para cambio de paso	63
Figura 5.20 Sistema de control del Cíclico	64
Figura 5.21 Unidad mezcladora	66
Figura 5.22 Control del Cíclico del Rotor Principal	67
Figura 5.23 Movimiento del cíclico para cambio de paso	68
Figura 5.24 Sistema de Rotor de Cola	69
Figura 5.25 Controles del Sistema de Antitorsión	70
Figura 6.0 Circuito Hidráulico del Banco (excluyendo componentes de simulación de fallas)	75
Figura 6.1 Diagrama de control proporcional	76
Figura 6.2 Circuito Hidráulico del Banco	80
Figura 6.3 Sistema N° 1 aislado	82
Figura 6.4 Conjunto de válvulas y filtro	83
Figura 6.5 Segundo tramo del sistema N° 1	84
Figura 6.6 Sistema N° 2 aislado	87
Figura 6.7 Sistema de freno	88

Figura 6.8 Componentes para generar fallos en el sistema hidráulico	90
Figura 6.9 Componentes de fallo “taponamiento en la línea de retorno”	92
Figura 6.10 Componentes de fallo en el sistema de antitorsión	93
Figura 6.11 Componentes de fallo “caída de presión”	94
Figura 6.12 Componentes de fallo “caída de caudal”	95
Figura 7.0 Rendimiento típico de la bomba	100
Figura 7.1 Gráfica de selección para bandas en V industriales de sección estrecha	104
Figura 7.2 Especificación de potencia: bandas 3V	105
Figura 7.3 Factor de corrección del ángulo de la envolvente, C_{θ}	110
Figura 7.4 Factor de corrección para longitud de la banda, C_L	110
Figura 7.5 Dimensiones polea acanalada	111
Figura 7.6 Fuerzas en las poleas acanaladas para bandas	113
Figura 7.7 a Boceto según la vista perfilada de los ejes	114
Figura 7.7 b Boceto con dimensiones de las poleas (pulgadas)	114
Figura 7.8 Nomograma para la elección del diámetro en las líneas	125
Figura 7.9 Gráfica de carga, corte, momento y torque	136
Figura 7.10 Circuito eléctrico del sistema	156
Figura 7.11 Arranque con voltaje reducido del motor principal	158
Figura 7.12 Circuito de control del motor N° 2	159
Figura 7.13 Circuito de mando principal	160
Figura 7.14 Circuito de control electro-hidráulico	162
Figura 8.0 a Vista isométrica del banco	164
Figura 8.0 b Vista frontal del banco	165
Figura 8.0 c Vista de perfil del banco	166
Figura 8.0 d Vista posterior del banco	167
Figura 8.0 e Vista de planta y vista inferior del banco	168

Figura 8.1 Estructura Principal	169
Figura 8.2 Conjunto Principal	170
Figura 8.3 Estructura de soporte de actuadores	171
Figura 8.4 Estructura y compartimiento inferior	171
Figura 8.5 Estructura y compartimiento superior	172

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.0 Simbología Eléctrica	13
Tabla 5.0 Características de la bomba	37
Tabla 5.1 Características sensor de temperatura y presión	46
Tabla 5.2 Características conjunto de válvula cheque	47
Tabla 5.3 Características de los servoactuadores	49
Tabla 6.0 Código de colores	74
Tabla 6.1 Componentes del Sistema Hidráulico	77
Tabla 6.2 Componentes del sistema hidráulico N° 1	81
Tabla 6.3 Componentes del sistema hidráulico N° 2	85
Tabla 6.4 Componentes para la simulación de fallos en el sistema	88
Tabla 7.0 Parámetros iniciales	96
Tabla 7.1 Datos del actuador	97
Tabla 7.2 Características de la bomba escogida	100
Tabla 7.4 Requisitos para la transmisión	103
Tabla 7.5 Factores de servicio para bandas en “V”	103
Tabla 7.6 Poleas sistema N° 1	106
Tabla 7.7 Poleas de la transmisión	107
Tabla 7.8 Longitudes de banda estándar para bandas “3V, 5V y 8V”	108
Tabla 7.9 Factores de corrección	109
Tabla 7.10 Resumen de la transmisión	111
Tabla 7.11 Fuerzas en el eje del motor	115
Tabla 7.12 Cargas en los ejes	115
Tabla 7.13 Aplicaciones de acumuladores	116
Tabla 7.14 Características del acumulador	118
Tabla 7.15 Eficiencia beta	120
Tabla 7.16 Niveles de limpieza ISO, NAS, SAE	120
Tabla 7.17 Características elementos filtrantes	121

Tabla 7.18 Clasificación de Viscosidad ISO	122
Tabla 7.19 Características del fluido hidráulico	123
Tabla 7.20 Fluidos para el sistema hidráulico	123
Tabla 7.21 Depósitos del sistema hidráulico	124
Tabla 7.22 Clasificación de líneas hidráulicas respecto a velocidad	126
Tabla 7.23 Diámetros de la tubería del sistema	126
Tabla 7.24 Tubería rígida del sistema	128
Tabla 7.25 Tubería flexible	129
Tabla 7.26 Carga para simular el freno de disco	130
Tabla 7.27 Valores iniciales para el cálculo del freno de disco	131
Tabla 7.28 Características del motor para el freno	132
Tabla 7.29 Características del embrague	133
Tabla 7.30 Valores iniciales para el cálculo del eje	134
Tabla 7.31 Resumen diseño del eje	137
Tabla 7.32 Válvula 2/2 – N/A de control por solenoide y muelle de Recuperación	138
Tabla 7.33 Válvula 2/2 – N/C de control por solenoide y muelle de Recuperación	138
Tabla 7.34 Válvula 3/2 – N/A de control por solenoide y muelle de Recuperación	138
Tabla 7.35 Válvula 4/2 – N/A de control por solenoide y muelle de Recuperación	139
Tabla 7.36 Válvula 3/2 – N/A de control manual y muelle de Recuperación	139
Tabla 7.37 Sistema de control proporcional	139
Tabla 7.38 Válvula cheque	140
Tabla 7.39 Válvula de alivio	141
Tabla 7.40 Válvula reductora de presión	141
Tabla 7.41 Válvula reguladora de caudal	142

Tabla 7.42 Manómetro	142
Tabla 7.43 Medidor de Caudal	142
Tabla 7.44 Visor de nivel y temperatura para tanque	142
Tabla 7.45 Acoples de tanques	144
Tabla 7.46 Acoples de bombas	145
Tabla 7.47 Acoples de válvulas solenoide	145
Tabla 7.48 Acoples de filtros	146
Tabla 7.49 Acoples de válvulas de alivio	146
Tabla 7.50 Acoples de válvula reductora de presión	147
Tabla 7.51 Acoples del flujómetro	147
Tabla 7.52 Acoples de la válvula reguladora de caudal	147
Tabla 7.53 Acoples de la válvula cheque	148
Tabla 7.54 Acoples rápidos	148
Tabla 7.55 Acoples de acumuladores	149
Tabla 7.56 Acoples de los manifolds	149
Tabla 7.57 Acoples de actuadores	150
Tabla 7.58 Parámetros para el cálculo de pérdidas	151
Tabla 7.59 Pérdidas del sistema N° 1	152
Tabla 7.60 Pérdidas del sistema N° 2	153
Tabla 7.61 Tipo de servicio eléctrico	157
Tabla 7.62 Tipo y tamaño del motor	157
Tabla 7.63 Características del arrancador	159
Tabla 7.64 Características de los pulsadores	161
Tabla 8.0 Dimensiones del Banco	163
Tabla 8.1 Número de partes conjunto principal	173
Tabla 8.2 Número de partes conjunto de actuadores	174
Tabla 8.3 Número de partes conjunto superior	174
Tabla 8.4 Número de partes conjunto inferior	175
Tabla 8.5 Número de partes tanques	175

Tabla 8.6 Número de partes piezas diseñadas	176
Tabla 9.0 Materiales estructurales para el banco	177
Tabla 9.1 Cotización de elementos estructurales	178
Tabla 9.2 Cotización de tortillería	179
Tabla 9.3 Cotización de componentes hidráulicos	181
Tabla 9.4 Cotización de elementos eléctricos	183
Tabla 9.5 Cotización de componentes mecánicos	184
Tabla 9.6 Inversión para la construcción del banco	187

GLOSARIO

ACTUADOR: Aparato que convierte energía hidráulica en energía mecánica, puede ser un motor o un cilindro.

ACTUADOR LINEAL: Aparato que convierte energía hidráulica en movimiento lineal.

ACUMULADOR: Recipiente en el cual se almacena fluido bajo presión.

AMPLIFICADOR: Aparato para amplificar la señal de error y originar la actuación del control de carrera.

BOMBA: Aparato que convierte fuerzas y movimiento mecánico en potencia hidráulica.

CAÍDA DE PRESIÓN: Diferencia de presión entre dos puntos de un sistema o de un componente.

CALOR: Forma de energía que tiene la capacidad de crear calor o aumentar la temperatura de una sustancia. Cualquier energía que es desperdiciada o utilizada para resistir fricción es convertida en calor.

CÁMARA: Compartimiento de una unidad hidráulica. Puede contener elementos que ayudan en la operación o en el control de una unidad.

CARGA: Cargar un sistema hidráulico arriba de la presión atmosférica. / Llenar un acumulador con fluido bajo presión (presión precargada).

CARRERA: Longitud de travesía de un pistón. / El cambio de desplazamiento de una bomba o motor de desplazamiento variable.

CAUDAL: Volumen de gas o líquido que circula por una determinada sección en una unidad de tiempo.

CILINDRO: Aparato que convierte potencia hidráulica en fuerza mecánica lineal y rotatoria. Este normalmente consiste de un elemento móvil tal como un pistón y un vástago, operando dentro del cuerpo del cilíndrico.

CILINDRO DE ACCIÓN SENCILLA: Cilindro en el cual la energía hidráulica puede producir empuje o movimiento en una sola dirección.

CILINDRO DE DOBLE ACCIÓN: Cilindro en el cual la fuerza del fluido puede ser aplicada al elemento en cualquier dirección.

CIRCUITO: Disposición de componentes interconectados para desempeñar una función específica dentro de un sistema.

CIRCUITO DE CENTRO ABIERTO: Se caracteriza porque el desplazamiento de la bomba fluye libremente a través del sistema y regresa al depósito en neutral.

CIRCUITO DE CENTRO CERRADO: Se caracteriza porque el flujo a través del sistema se obstaculiza en neutral y la presión se mantiene al máximo ajuste para el respectivo control de presión.

COMPONENTE: Unidad hidráulica sencilla.

CONTROL: Aparato utilizado para regular las funciones de un componente hidráulico.

CONTROL HIDRÁULICO: Control de potencia hidráulica en componentes inducidos.

CONTROL MECÁNICO: Cualquier control actuador por uniones, engranes, tornillos y otros elementos mecánicos.

DESCARGAR: Soltar el flujo (normalmente al depósito), para evitar que se imponga presión en el sistema o parte del sistema.

DESCOMPRESIÓN: El dejar pasar lentamente fluido confinado para reducir la presión del fluido gradualmente.

DESPLAZAMIENTO: Cantidad de fluido que pueda pasar a través de una bomba, motor o cilindro en una sola revolución o carrera.

EFICIENCIA VOLUMÉTRICA: La eficiencia volumétrica de una bomba es la salida actual en GPM dividida por la salida teórica o designada; se expresa como porcentaje.

EFICIENCIA TOTAL: La eficiencia total de un sistema hidráulica es la salida de potencia dividida por la potencia de entrada; se expresa como porcentaje.

EMBOLO: Parte moldeada en forma cilíndrica la cual tiene un solo diámetro y es usada para transmitir empuje.

ENERGÍA: Es la habilidad o capacidad para hacer un trabajo. Medida en unidades de trabajo.

ESTRANGULAR: Permitir paso restringido al flujo. Se puede controlar el porcentaje de flujo o crear una caída de presión considerada.

FILTRO: Aparato el cual su función principal es la retención por medios porosos, de contaminación insoluble del fluido.

FLUIDO: Líquido o gas. / Los líquidos especialmente compuestos se utilizan como medio transmisor de potencia en un sistema hidráulico.

FRECUENCIA: El número de veces que sucede una acción en una unidad de tiempo. La frecuencia básica de una bomba o motor es igual a la velocidad en revoluciones por segundo multiplicado por el número de cámaras bombeadoras.

FUERZA: Cualquier empuje medido en unidades de peso. En hidráulica, la fuerza total es expresada por el producto P (Fuerza por unidad de área) y el área de una superficie es la cual la presión actúa $F = P \times A$.

FUGA: Fuga interna de fluidos hidráulico.

ÍNDICE DE VISCOSIDAD: Es la medida de la viscosidad, temperatura, y características de un fluido en referencia a dos fluidos.

LÍNEA: Tuberías o mangueras que actúan como un conductor de fluido hidráulico.

LÍNEA DE PRESIÓN: Línea que lleva el fluido que viene de la bomba hasta el orificio presurizado del actuador.

LÍNEA DE RETORNO: Línea utilizada para llevar el fluido que viene del actuador de regreso al depósito.

LÍNEA DE SUCCIÓN: Línea hidráulica que conecta el orificio de la entrada de la bomba con el depósito

MOTOR: Aparato que convierte la potencia de un fluido hidráulico en fuerza mecánica. Este normalmente produce movimiento mecánico rotatorio.

POTENCIA: Trabajo por unidad de tiempo. Medido en caballos de fuerza (HP) o Watts.

PRESIÓN: Fuerza por unidad de área; normalmente es expresada en libras por pulgada cuadrada (psi).

PRESÓSTATO: Interruptor de presión.

REALIMENTAR (SEÑAL REALIMENTADORA): Señal de salida de un elemento realimentador.

REALIMENTADOR CERRADO: Cualquier circuito cerrado que consiste en uno o más elementos realimentadores.

SANGRADO: Desviar un parte específica controlable del abastecimiento de la bomba directamente al depósito.

SEÑAL: Mandato o indicación de una posición o velocidad deseada.

SERVO-MECANISMO: Mecanismo sujeto a la acción de un aparato de control, el cual operara como si éste fuera directamente actuado por el aparato de control, pero capaz de abastecer potencia de salida, las veces que el aparato de control lo indique.

SÍMBOLOS: Representación gráfica simplificada de elementos eléctricos y/o hidráulicos.

SUBPLACA: Montaje auxiliar para un componente hidráulico dando los medios para conectar la línea al componente.

TANQUE: Depósito o sumidero.

VÁLVULA: Aparato que controla el fluido, la dirección, la presión o el porcentaje del flujo.

VÁLVULAS ANTIRRETORNO: Válvula de bloqueo que cierra automáticamente el paso en un sentido de circulación.

VÁLVULA DE ALIVIO: Válvula operada por presión, la cual desvía el abastecimiento de la bomba al depósito limitando la presión del sistema a un valor máximo predeterminado.

VÁLVULA DE CENTRO ABIERTO: Válvula donde todos los orificios están interconectados y se abren entre sí en el centro o en posición neutral.

VÁLVULA DE CENTRO CERRADO: Válvula donde todos los orificios están obstruidos en el centro o en posición neutral.

VÁLVULA DE CONTROL DE FLUJO: Válvula que controla el porcentaje de flujo.

VÁLVULA CHEQUE: Válvula que permite flujo en una sola dirección.

VÁLVULA DIRECCIONAL: Válvula la cual dirige y evita flujo a los canales deseados.

VÁLVULA DESCARGADORA: Válvula que desvía el flujo al tanque cuando el ajuste de presión es mantenido en su orificio piloto.

VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN: Válvula que limita la presión máxima en su salida sin importar la presión de entrada.

VÁLVULA SERVO: Válvula que modula la salida como una función de un mandato de entrada.

VÁLVULA SERVO ELECTRO-HIDRÁULICA: Válvula tipo direccional que recibe una señal eléctrica variable o controlada y la cual controla y mide el flujo hidráulico.

VELOCIDAD: Velocidad del flujo a través de una línea hidráulica. Expresado en pies por segundo (ft/s) o pulgadas por segundo (in/s). / Velocidad de un componente rotatorio medido en revoluciones por minutos (RPM).

VISCOSIDAD: Medida de la fricción interna o la resistencia de un fluido.

VOLUMEN: Tamaño del espacio o cámara en unidades cúbicas. / Aplicado a la salida de una bomba en galones por minuto (GPM).

INTRODUCCIÓN

En este proyecto se realizará el diseño detallado de un banco didáctico de control del sistema hidráulico del helicóptero Bell 212/412, para uso académico y experimental en la parte hidráulica de la Universidad de San Buenaventura.

Para su diseño, se mostrarán los pasos que llevarán a realizar exitosamente el diseño. En primer lugar se estudiará a fondo el funcionamiento del sistema hidráulico en el helicóptero Bell 212/412, que es necesario para llegar al estudio detallado de cada uno de sus componentes y su respectivo funcionamiento. De acuerdo a cada una de las funciones específicas del sistema hidráulico patrón, se planteará un diseño donde por medio de la selección y el uso de componentes hidráulicos industriales se llegue a un sistema hidráulico que cumpla las mismas características que el sistema presente en el helicóptero Bell 212/412, buscando así un mejor estudio enfocado a la parte electro-hidráulica, servo-hidráulica, hidráulica proporcional y elementos de control electrónico.

Es importante anotar con base en lo anterior que en el sistema hidráulico original del helicóptero Bell 212/412, los componentes hidráulicos que se utilizan son certificados por las autoridades aeronáuticas dando un estricto control de calidad, razón por la cual los precios manejados en el mercado de partes y/o componentes tienen costos altos en comparación con equipamientos industriales corrientes que tienen también sus respectivas pruebas de calidad con la diferencia de que los precios son mucho más accesibles. En el diseño se encontrarán las descripciones pertinentes al sistema hidráulico del helicóptero, un análisis en cuanto a electro-hidráulica e hidráulica proporcional que son las tecnologías utilizadas en la construcción del diseño del sistema hidráulico del banco. Adicionalmente el diseño incluye manuales para la construcción respectiva, planos de ingeniería, manuales de operación y programas de mantenimiento de la máquina en general.

El proyecto se encuentra limitado al diseño, puesto que para la adquisición de elementos electro-hidráulicos se requiere un alto monto de dinero. Con el desarrollo de este proyecto se da una muestra de la importancia del estudio de un sistema ya creado y principalmente permite refuerzos en la rama de hidráulica de aeronaves de ala rotatoria, afianzamiento con sistemas electro-hidráulicos y sistemas de control proporcional, para que en el campo de la aeronáutica y con visión en el diseño se pueda a futuro poder mejorarlos o desarrollar nuevas tecnologías.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 TITULO DEL PROYECTO

Diseño detallado de banco didáctico del sistema hidráulico del helicóptero Bell 212/412.

1.2 ANTECEDENTES

En Colombia se conocen antecedentes de un tipo de banco hidráulico, pero sus aplicaciones difieren totalmente. La Fuerza Aérea Colombiana FAC, cuenta con diferentes bancos para efectuar las pruebas de elementos del sistema hidráulico como lo son los servoactuadores del sistema hidráulico en helicópteros Bell 212/412. Estos no son bancos didácticos que muestran el funcionamiento del sistema como tal, pero se requieren necesariamente para realizar las respectivas pruebas de algunos componentes con base a las acciones generalmente de mantenimiento o de reparación que los manuales del fabricante exigen con la finalidad de determinar la aeronavegabilidad de la aeronave.

En la universidad de San Buenaventura, existen bancos didácticos que ayudan a reforzar los análisis teóricos en cuanto a hidráulica. Un primer banco didáctico de hidráulica convencional, presenta ayudas al área por medio de prácticas con una respectiva guía de laboratorio. Éste consta de varias secciones de tubería y agua en circulación con instrumentos de medición tales como manómetros diferenciales, tubos de Bourdón, medidores de caudal, etc., ubicados a lo largo de los tramos, con el fin de que el estudiante conozca y establezca los parámetros de un sistema hidráulico y sus pérdidas. El segundo banco de hidráulica, tiene como función construir sistemas hidráulicos basados en circuitos proporcionados en las guías de laboratorio. El sistema maneja una presión media y utiliza aceite hidráulico como en máquinas industriales; el estudiante tiene la opción de realizar las conexiones y controlar el sistema por medios manuales y/o eléctricos. Éste banco tiene como

finalidad construir y controlar sistemas de hidráulica convencional y electro-hidráulica. El tercer banco hidráulico presenta el funcionamiento de un tren de aterrizaje retráctil de una aeronave, donde se controla su extensión y retracción por medio de un tablero de control, además de exponer el mecanismo de sujeción.

1.3 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el campo de la aviación es necesario el uso de los sistemas hidráulicos. En el área académica, la Universidad de San Buenaventura no cuenta con ningún medio el cual permita llevar a cabo prácticas enfocadas al control hidráulico de aeronaves con ala rotatoria; debido a esto se busca diseñar algún tipo de sistema o más bien dicho una máquina que permita a los estudiantes mejorar teórica y prácticamente la debilidad presentada.

En nuestro país, la versatilidad de los helicópteros es de una gran ayuda, ya que en la topografía colombiana se hallan muchas regiones donde se requiere que los pilotos realicen maniobras de la forma más segura posible para llevar a cabo un aterrizaje en cualquier misión a la que se esté destinado, por ende todos los operadores de helicópteros deben tener una adecuada instrucción a su personal de operaciones, técnico e ingeniería acerca de helicópteros. Adicionalmente, un gran porcentaje de las aeronaves en el medio de la aviación son helicópteros y como la Policía Nacional, la Fuerza Aérea Colombiana FAC y en general la armada y empresas que prestan servicio con estas aeronaves, son operadores con personal aeronáutico que están encargados en dirigir la parte técnica con base en los conocimientos en estos sistemas.

El empleo de componentes hidráulicos aeronáuticos para la construcción de un banco didáctico, es limitado, ya que en cuanto a coste presenta deficiencia por sus precios muy elevados en el mercado además de la adquisición y disponibilidad de este tipo de elementos por los operadores.

En el proyecto se podrán implementar prácticas con base a los conocimientos adquiridos en las diferentes áreas, enfocado especialmente a la rama de control

hidráulico en helicópteros, electro-hidráulica, servo-hidráulica e hidráulica proporcional, con la finalidad de mejorar los procesos de diseño y construcción por parte de los estudiantes ya que de ello depende que un ingeniero aeronáutico se desempeñe integralmente en todas las ramas.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Para un Ingeniero Aeronáutico es fundamental conocer el funcionamiento de toda clase de aeronaves, por lo que es necesario desarrollar sistemas que faciliten el aprendizaje de cada una de ellas.

La finalidad de este proyecto es afianzar los conocimientos adquiridos en hidráulica y sus ramas afines aplicados a sistemas de aeronaves, pero especialmente en helicópteros, puesto que los laboratorios de la universidad carecen de elementos prácticos de este tipo.

El empleo de componentes hidráulicos industriales para la construcción del banco didáctico, reducirán los costos en caso de una futura construcción del banco a comparación con algún diseño donde se utilicen componentes originales, o más bien elementos hidráulicos certificados por autoridades aeronáuticas.

Para el proyecto las bases están en el helicóptero Bell 212/412, puesto que es más factible tener fuentes de información y recursos dentro y fuera de la institución, a comparación con otros helicópteros que estén actualmente en operación.

La dotación del diseño detallado de un banco de control hidráulico de un helicóptero, es necesaria para la complementación de los instrumentos de estudio de la Universidad de San Buenaventura, ya que de acuerdo con los antecedentes, este tipo de banco especialmente enfocado a la rama de helicópteros es muy limitado, y ayudaría en grandes proporciones al fortalecimiento conceptual en el área de control de vuelo de helicópteros.

2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un banco didáctico del sistema hidráulico del helicóptero Bell 212/412, utilizando componentes industriales con el fin de analizar el funcionamiento y conocer los parámetros.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Proporcionar a la Universidad de San Buenaventura el diseño detallado de un banco didáctico del sistema hidráulico del helicóptero Bell 212/412.
- Recopilar información y analizar cada uno de los componentes y funcionamiento del sistema hidráulico del helicóptero Bell 212/412.
- Especificar las dimensiones del banco.
- Presentar el diagrama hidráulico correspondiente.
- Entregar cálculos de diseño.
- Entregar planos detallados para la futura construcción.
- Entregar evaluación financiera del banco.
- Crear un manual de operación y mantenimiento del banco.
- Crear caza fallas en el sistema para las respectivas prácticas.
- Crear guías de laboratorio para la práctica de hidráulica en la Universidad de San Buenaventura.

3. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

3.1 ALCANCES

En el diseño de este banco didáctico, se presentarán una descripción detallada del sistema hidráulico del helicóptero Bell 212/412, análisis de conceptos de electro-hidráulica e hidráulica proporcional, cálculos de diseño, selección de componentes, un esquema del circuito hidráulico, planos del modelo con ayuda de software que estén a disposición de la Universidad de San Buenaventura, manuales de operación y mantenimiento preventivo, guías para prácticas de laboratorio o prácticas en el banco y una evaluación financiera del proyecto. Con todo el diseño del proyecto, se garantiza que si está la posibilidad de construcción del banco, tenga respaldo, en cuanto a viabilidad en su función principal y una idea muy cercana a la realidad evaluando los costos de materiales, mano de obra, y componentes que sean necesarios.

3.2 LIMITACIONES

La limitación está principalmente en el asunto financiero, puesto que para la construcción del banco en determinado caso, partiendo del diseño propuesto y evaluado, se requiere una cantidad monetaria que por el momento no se tiene disponible, por lo tanto, el banco no se construirá inicialmente.

4. MARCO TEÓRICO

En este capítulo, está contenida toda la información teórica acerca de elementos eléctricos, electro-hidráulica e hidráulica proporcional, con la finalidad de analizar muy precisamente los conceptos bases que se manejarán como patrón en el diseño del sistema.

4.1 ELECTRO-HIDRÁULICA

Es la combinación de la electrónica e hidráulica. En ella, se adiciona a la hidráulica convencional el control electrónico con el fin de conseguir movimientos precisos, suaves y rápidos lo que se traduce a un alto índice de calidad y confiabilidad en los sistemas. Los sistemas electro-hidráulicos se diseñan con componentes eléctricos e hidráulicos. Los movimientos y esfuerzos son generados por medios hidráulicos; la entrada y procesamiento de señales por medio de componentes eléctricos y electrónicos (elementos de conmutación electromecánicos o con controles programables).

El control y precisión de posicionamiento de las válvulas electro-hidráulicas permite clasificarlos en:

- Válvulas electro-hidráulicas
- Servo-válvulas

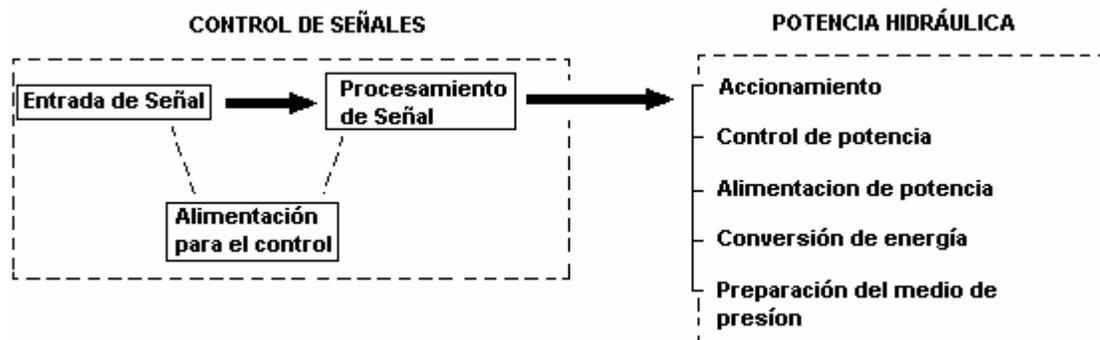
4.1.1 Electro – válvulas. Se llama electro-válvula a la válvula que alcanza sus posiciones de control en función de la señal eléctrica de entrada que envía el operador. Las válvulas pueden ser con retorno por resorte, controladas por pulsos o centradas por resortes. Las válvulas electro-hidráulicas se emplean cuando la distancia entre el mando y la posición física de la válvula es considerable, de modo que no es práctico disponer de articulaciones mecánicas de accionamiento.

4.1.2 Ventajas de la Electro-hidráulica. El uso de componentes eléctricos y electrónicos en el control de sistemas hidráulicos es ventajoso debido a que las señales eléctricas son de transmisión rápida y fácil a grandes distancias, a diferencia de transmisiones mecánicas o hidráulicas que son más complejas. Las señales de mando eléctricas además se adaptan perfectamente para posicionar el “spool” de las válvulas con extrema precisión.

4.1.3 Diseño de un Sistema Electro-hidráulico. Para este diseño se tienen dos grupos:

- Sección de control de señales, la entrada de señales, el procesamiento de señales y el suministro de la energía de control.
- Sección de potencia hidráulica, alimentación de potencia, sección de potencia y sección de accionamiento.

Figura 4.0 Sección de control de señales y potencia hidráulica



La señal generada en la sección de control de señales, es procesada y transmitida a la sección de potencia a través de la interfase. En la sección de potencia, la señal eléctrica controla la energía hidráulica que se convertirá en energía mecánica.

4.1.4 Sistemas Electro-hidráulicos. Un sistema electro-hidráulico consta principalmente de dos grupos: sistema de control de potencia y sistema de control de alimentación.

- **Sección de Potencia.** Ésta sección comprende todos los elementos que suministran la alimentación y el control de la potencia de un sistema. Generalmente, la sección de potencia de un sistema electro-hidráulico no se diferencia de la potencia de un sistema meramente hidráulico, a excepción de la forma de la actuación de las válvulas.

- **Sección de Alimentación.** Ésta sección se divide en la conversión de la energía y preparación del medio de presión. En el proceso de conversión de la energía (energía eléctrica es convertida en energía hidráulica y posteriormente en energía mecánica), se utilizan generalmente componentes como motores, bombas, dispositivos de protección, tanque con indicador de nivel, filtros, intercambiadores de calor, acoples, instrumentos de medición, etc.

- **Sección de Control de Potencia.** En sistemas electro-hidráulicos, el control de la potencia se efectúa por medio de válvulas.

- **Sección de Accionamiento.** En esta sección se realizan los movimientos de trabajo del sistema. La presión hidráulica en el medio de presión, se convierte en energía mecánica con la ayuda de motores y actuadores. El consumo de potencia de actuadores en la sección de accionamiento, determina los requerimientos en relación con la elección de los componentes para la sección de alimentación de potencia y control.

- **Sección de Control de Señales.** Ésta sección de control de señales difiere considerablemente de un sistema hidráulico convencional. En los sistemas electro-hidráulicos la sección de control de señales se divide en:

- Entrada de señales (uso de la tecnología de sensores)
- Procesamiento de señales (uso de la tecnología de procesadores)

- **Entrada de señales.** La entrada de señales está formada por señales emitidas por el operador (interruptores, pulsadores, etc.) y las señales transmitidas por el sistema (finales de carrera, detectores de proximidad, sensores de temperatura, presóstatos etc.).

- **Interruptores y Pulsadores.** Se instalan para abrir o cerrar el flujo de corriente a los dispositivos consumidores. Los interruptores se dividen en interruptores pulsadores e interruptores de control. Los pulsadores abren o cierran el circuito mientras se mantienen presionados.

- **Finales de Carrera.** Son interruptores eléctricos que se accionan cuando una parte de la máquina o alguna pieza se encuentren en una determinada posición. Generalmente se activa por medio de una leva de accionamiento.

- **Presóstatos.** Es un interruptor de presión que por medio de una conexión de tubería toma la presión y produce una señal eléctrica de abierto o de cerrado. La presión a la que da la señal puede ser graduada por medio de un tornillo de graduación desde 0 - 3000 psi o 5000 psi generalmente. Los presóstatos pueden ser también de vacío (para ser colocados en la succión de las bombas).

- **Sensores.** Se utilizan para recoger información sobre el estado de un sistema y para suministrar esta información al control. En los sistemas electro-hidráulicos, los sensores se utilizan principalmente para las siguientes tareas:

- Medición y supervisión de las presiones y temperaturas del fluido a presión.
- Detección de la proximidad, (posición o posiciones finales de los actuadores).

Estos sensores pueden ser conmutadores o transmisores de señal.

Los sensores de proximidad sin contacto difieren de los finales de carrera en virtud de su modo de actuar, sin una fuerza mecánica que los mueva. Debe distinguirse entre los siguientes grupos de sensores de proximidad:

- Sensores de proximidad activados magnéticamente (interruptores RED).
- Sensores de proximidad inductivos.
- Sensores de proximidad capacitivos.
- Sensores de proximidad ópticos.

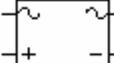
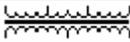
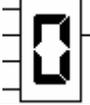
- **Procesamiento de señales.** En los sistemas electro-hidráulicos, el procesamiento de señales se efectúa a través de circuitos eléctricos o PCS.

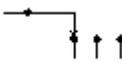
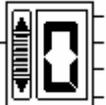
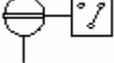
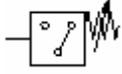
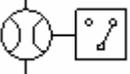
- **Interfase.** Las electro-válvulas forman interfase entre la sección de control de señales y la sección de potencia de un sistema electro-hidráulico. Los electroimanes con bobinas a una tensión de funcionamiento de 24 V, son los más utilizados para activar las electro-válvulas. También se utilizan bobinas en corriente alterna con tensiones de 110 y 220 V.

4.1.5 Simbología Eléctrica. La tabla 4.0 muestra la simbología eléctrica utilizada en sistemas electro-hidráulicos; está basada en estándares JIC¹.

¹ Los estándares de JIC (Joint Industrial Council) tienen el propósito de proporcionar un sistema uniforme de prácticas básicas que darían lugar a una máquina-herramienta bien hecha. Se conforma de cuatro estándares: Eléctrico (EMP-1-67/EGP-1-67); EL-11-1971 electrónico); Hidráulico (H-1-1973); y neumático (P-1-1975).

Tabla 4.0 Simbología Eléctrica

Líneas y Conexiones		Fuentes de Poder	
Bloque de conexión		Fuentes de alimentación	
Enchufe macho		Neutro	
Enchufe Hembra		Tierra	
Cruce de línea (vertical)		Fuente de alimentación 24 V	
Cruce de línea (horizontal)		Común 0 V	
Fusible		Transformador	
Envío de entrada		Fuente de alimentación C.C.	
Envío de salida		Transformador múltiple	
Componentes de Salida		Contactos	
Visualizador de 7 segmentos DEL		Contacto N/A	
Relé		Contacto N/C	
Relé enclavado		Contacto de flanco ascendente	
Relé desenclavado		Contacto de flanco descendente	
Temporización a la desconexión		Contacto de flanco ascendente/descendente	
Temporización a la conexión		Contacto temporizado a la desconexión N/A	
Relé intermitente		Contacto temporizado a la desconexión N/C	
Solenoides		Contacto temporizado a la conexión N/A	
Indicador luminoso		Contacto temporizado a la conexión N/C	
Elemento de calefacción		Contacto temporizado a la conexión/desconexión N/A	
Motor monofásico		Contacto temporizado a la conexión/desconexión N/C	

Componentes de Salida		Contactos	
Motor trifásico		Contacto auxiliar de pulsador N/A	
Diodo		Contacto auxiliar de pulsador N/C	
DEL		Interruptores de posición mecánica N/A	
Resistencia		Interruptores de posición mecánica N/C	
Relé térmico de sobrecarga		Interruptores de proximidad N/A	
Interruptores		Interruptores de proximidad N/C	
Pulsador N/A		Interruptores de presión N/A	
Pulsador N/C		Interruptores de presión N/C	
Interruptor N/A		Interruptores térmicos N/A	
Interruptor N/C		Interruptores térmicos N/C	
Interruptor 2 posiciones		Interruptores de nivel N/A	
Interruptor 3 posiciones		Interruptores de nivel N/C	
Interruptor multiposicional		Rueda selectora	
Sensores			
Sensor de posición mecánico		Termo-contacto	
Sensor de proximidad		Conmutador de nivel	
Sensor de presión		Conmutador de caudal	
Posición del sensor bidireccional		Sensor magnético	
Posición del sensor unidireccional		Sensor de presión análogo	
Sensor de posición magnético			

4.1.6 Control Electro-hidráulico. Los sistemas hidráulicos de control convencional, poseen una central hidráulica común para todos los actuadores y válvulas instalados en el banco de trabajo, lo cual requiere de un complejo sistema de condiciones para conducir el aceite hidráulico hasta las posiciones que ocupan dichos actuadores, por esto se recurre a controles electro-hidráulicos que transmiten grandes potencias, velocidades y realizan posicionamientos con alta precisión de largo alcance.

4.1.7 Tipos de Control Electro-hidráulico

- **Control “ON - OFF”.** Las válvulas solenoides son comúnmente operadas en forma ON-OFF. Poseen dos estados de activación que corresponden al estado de alguna de las ramas hidráulicas abiertas o cerradas. Los requerimientos de entrada pueden ser voltajes AC, DC de un específico valor a un específico nivel de corriente y las características de flujo son usualmente definidas por el tamaño de un orificio o coeficiente de la válvula. En un control típico “ON-OFF”, la precisión es proporcional al producto del tiempo de respuesta de la válvula y la velocidad conocido como “slew rate”. En válvulas de gran tamaño, se obtienen movimientos rápidos de la maquina pero una precisión pobre en posicionamiento. Incrementar la precisión requiere válvulas más rápidas o disminuir la velocidad.

- **Control Modulado.** La precisión en la posición del control “ON-OFF”, puede ser mejorada con una velocidad variable obtenida con el uso de control modulado. El control modulado es la operación cíclica continua de elementos “ON-OFF” en el tiempo, obteniéndose el promedio de velocidad deseado. Este método es llamado control por modulación de ancho de pulso. Se usan para este fin elementos llamados válvulas de conmutación.

Un sistema típico utiliza dos válvulas, una para cada dirección del movimiento. Para un promedio cero de velocidad ambas válvulas deben ser accionadas dentro

de un ciclo con tiempos iguales de apertura y cierre. El resultado en un servo-posicionador es una modulación en torno a una posición determinada.

Para obtener una posición deseada se ajustan los tiempos "ON-OFF" de cada válvula. Con una válvula totalmente en "ON" y la otra totalmente en "OFF" se obtiene la máxima velocidad en una dirección. La limitación de este sistema de control es similar al del control "ON-OFF", la frecuencia de modulación es limitada por la velocidad de respuesta de las válvulas. Las válvulas grandes son más lentas en respuesta que las pequeñas y la modulación a bajas frecuencias produce vibración inaceptable y ruido en el equipo.

4.2 SERVO HIDRÁULICA

4.2.1 Servo-válvulas Se llama servo-válvula a la válvula direccional que tiene infinidad de posiciones ajustando la cantidad de fluido hidráulico y la dirección al controlar o acoplarse a algún elemento muy sensible donde se puede obtener un control preciso de posición, velocidad y aceleración de un actuador. Existen dos tipos de válvulas servo: las servo-mecánicas y las servo electro-hidráulicas.

- **Servo-mecánica.** Utiliza básicamente un amplificador de fuerza para posicionar el control. Una palanca de control está conectada al spool² de la válvula; el cuerpo de la válvula está conectado a la carga y éstos se mueven simultáneamente. Al accionarse el spool, se envía fluido a la cámara del cilindro, éste se moverá en la misma dirección que el spool accionado. Así el cuerpo de la válvula sigue el spool y el fluido continúa hasta neutralizarse el cuerpo de la válvula y el spool. En efecto, la carga se mueve una distancia proporcional al movimiento del spool.

² El término "spool" (carrete) aplica a casi todas las partes móviles cilíndricas de un componente hidráulico, el cual se mueve para permitir el paso de flujo hidráulico a través del componente.

- **Servo Electro-hidráulicas.** Básicamente una señal se dirige a un motor o algún equipo similar donde directa o indirectamente posiciona el spool de la válvula.

4.3 HIDRÁULICA PROPORCIONAL

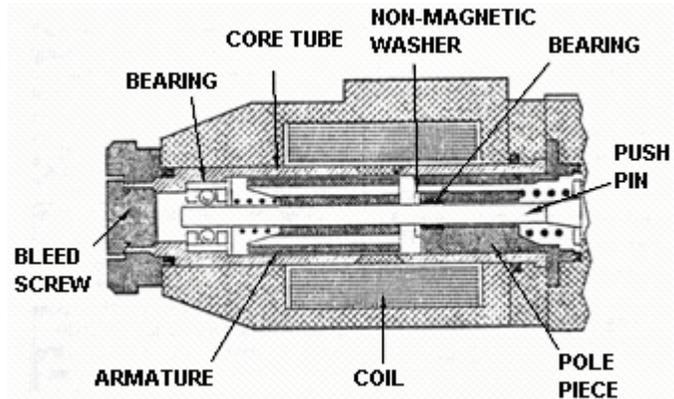
4.3.1 Válvulas Proporcionales. Una válvula proporcional, es definida como una válvula que produce una salida proporcional a su señal de entrada, el cual puede ser ajustado remotamente por medios electrónicos. Para distinguir entre una válvula servo y una proporcional, es necesario saber que las válvulas proporcionales son actuadas por medio de “solenoides proporcionales”, siendo lo contrario a una fuerza o torque utilizado en una servo. Dependiendo del tipo, la salida de una válvula proporcional puede ser de presión variable, caudal o una combinación de flujo y dirección:

- *Válvulas proporcionales de control de presión:* pueden ser válvulas de alivio o reducción donde la fijación de la presión es electrónicamente ajustada.
- *Válvulas proporcionales de control de caudal:* donde la razón de flujo a través de la válvula es controlada electrónicamente.
- *Válvulas proporcionales de control direccional:* puede controlar la dirección y la cantidad de flujo en respuesta a una señal electrónica.

El proyecto contará con sistema de válvulas proporcionales de control direccional, por lo que más adelante se estudiará detalladamente este tipo de componente.

4.3.2 Solenoides Proporcionales. Son solenoides de corriente continua, dispone el mando eléctrico de válvulas sin escalones.

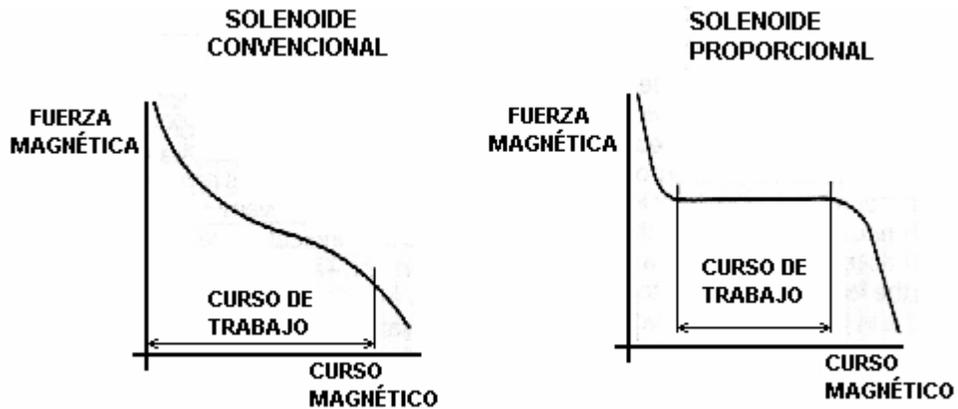
Figura 4.1 Solenoide proporcional



Principles of Proportional Valves Vickers

La diferencia principal entre un solenoide proporcional y un solenoide común está en el diseño del núcleo, la pieza del polo y el tubo del núcleo, el cual tiene una forma característica con el fin de suministrar mayor fuerza constante sobre el desplazamiento del solenoide. La figura 4.2 muestra la curva típica de la fuerza/desplazamiento de los dos tipos de solenoides.

Figura 4.2 Curvas típicas de la carrera de dos tipos de solenoides

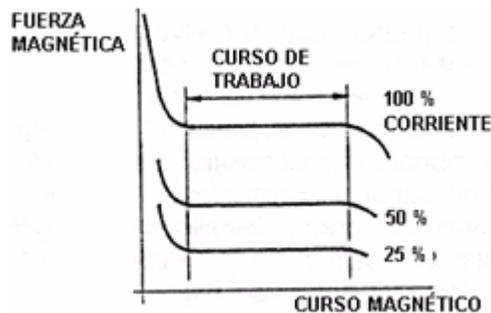


Principles of Proportional Valves Vickers

Como se puede apreciar en la figura 4.2, la fuerza del solenoide proporcional permanece virtualmente constante sobre el curso de trabajo.

La relación entre la fuerza de un solenoide y la corriente del embobinado es lineal, lo que significa que a cualquier posición del armazón del solenoide dentro de su curso de trabajo, la fuerza del solenoide está exclusivamente determinada por la corriente del embobinado, como se aprecia en la figura 4.3.

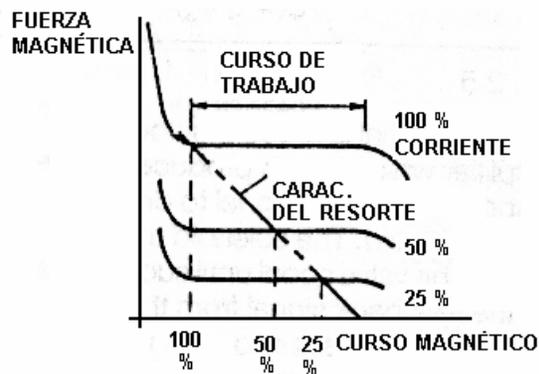
Figura 4.3 Relación fuerza del solenoide vs. Corriente



Principles of Proportional Valves Vickers

Asumiendo que el solenoide mueve el spool contra el resorte donde tiene una relación lineal entre fuerza y compresión, sus características pueden deducirse en la figura 4.4.

Figura 4.4 Fuerza del solenoide vs. Fuerza del resorte

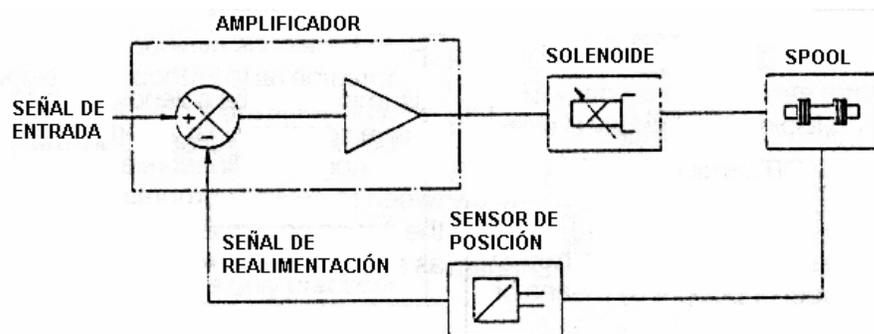


Principles of Proportional Valves Vickers

Cuando se aplica corriente al solenoide, la fuerza resultante creada moverá el spool hasta el instante en que esta fuerza se balancee con la fuerza del resorte. En efecto, variando la corriente del solenoide, el spool se posicionará en cualquier lugar a lo largo de la carrera. El desempeño de este tipo de válvulas es limitado sin embargo, en la práctica hay otras fuerzas que actúan sobre el spool aparte del solenoide y del resorte, en particular son fuerzas del flujo y fuerzas de fricción que tendrán efecto sobre la posición del spool.

Donde se requiere un alto grado de rendimiento de la válvula, es en el sensor de posición que se acopla al spool de la válvula o al solenoide, suministrando una señal eléctrica proporcional a la posición del spool. Esta señal de posición proporciona una retroalimentación al amplificador del control de la válvula, permitiendo que el spool sea posicionado por medio de un arreglo en centro cerrado. Una señal de entrada alimenta el amplificador el cual a su vez produce una señal de salida correspondiente al movimiento del solenoide. El solenoide entonces mueve el spool hasta el momento en el que la señal de retroalimentación proveniente del sensor de posición, corresponde a la demanda de la señal de entrada. Por consiguiente, esta técnica hace posible que el spool se posicione con mucha precisión en el cuerpo de la válvula y cualquier tipo de perturbación causada por fuerzas de fricción, flujo o presión sea corregida automáticamente.

Figura 4.5 Diagrama de retroalimentación de válvulas con sensor de posición



4.3.3 Sensores de Posición. El sensor de posición mas utilizado para la retroalimentación del spool es tipo “no-contacto” LVDT (linear variable differential transformer) o transformador diferencial de variable lineal.

La señal de suministro AC (corriente alterna) puede crearse a partir de un voltaje DC (corriente directa) por medio de un dispositivo conocido como oscilador. En la práctica es común encontrar osciladores y demoduladores incorporados en la armazón del LVDT. Esto significa que en el conjunto del LVDT solo necesita de un suministro DC y una señal de retroalimentación hacia el amplificador que esté en forma de voltaje DC o en señal de corriente. Utilizando de 4 a 20 mA en la señal de retroalimentación, se puede proporcionar indicación de la situación de error en el transductor.

4.3.4 Amplificadores. A continuación se especificarán las características específicas de amplificadores para control de válvulas. Todos los amplificadores constan de los siguientes elementos:

- Suministro de potencia
- Habilitación/deshabilitación
- Ganancia
- Compensación de punto muerto o banda muerta
- Funciones de rampa
- Reconocimiento del cuadrante
- Señal vibratoria
- Modulación de ancho de pulso

- **Suministro de Potencia.** La mayoría de los amplificadores requieren suministro de voltaje DC y normalmente el amplificador cuenta con dos pines por conexión por cuestiones de confiabilidad. Dependiendo de la aplicación, el suministro es derivado de una batería o es rectificado de una fuente AC. En ambos casos, un

capacitor de filtraje se requiere en la línea de suministro de potencia o en ambas para suavizar cualquier onda en la corriente AC rectificadas, además de filtrar los picos de voltaje que se pueden inducir en cables desprotegidos de suministro.

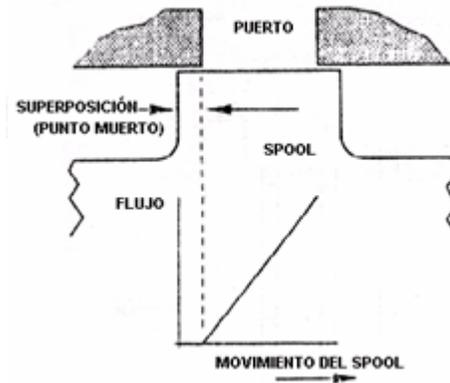
- **Habilitación / Deshabilitación.** Ciertas tarjetas de amplificadores incorporan la función de habilitación por lo cual el voltaje especificado debe encontrarse presente en la conexión de habilitación antes de que se opere la etapa de salida en la tarjeta. Básicamente permite a un switch de parada de emergencia que se conecte a esta función, si la señal habilitada se llega a perder, el amplificador inmediatamente produce una salida nula que la válvula producirá en consecuencia. Situar el switch de parada de emergencia en la línea de suministro de potencia, no es recomendable puesto que la carga almacenada en los capacitores puede mantener la señal de la válvula por un periodo de tiempo después que el switch haya sido abierto.

- **Ganancia.** Todos los amplificadores incorporan un ajuste de ganancia el cual básicamente determina la relación entre la entrada y la salida del amplificador. Esto puede utilizarse por ejemplo en el ajuste de la salida máxima del amplificador para una señal de entrada completa.

- **Compensación del Punto Muerto o Banda Muerta.** Los spool corredizos de una válvula proporcional, normalmente tienen siempre una cantidad de "superposición" o llamado también punto muerto, ya sea al comienzo del movimiento del spool para el caso de válvulas con estrangulación o alrededor de la posición central como en las válvulas direccionales. Esta superposición reduce la fuga en el spool en la posición nula y además provee un grado mayor de seguridad como en el caso de una falla en la potencia o situaciones de parada. Este efecto de superposición del spool, de cualquier manera, significa que aunque

un cierto nivel de señal por mínimo que sea, si es enviado al solenoide tendrá un efecto notable en el sistema.

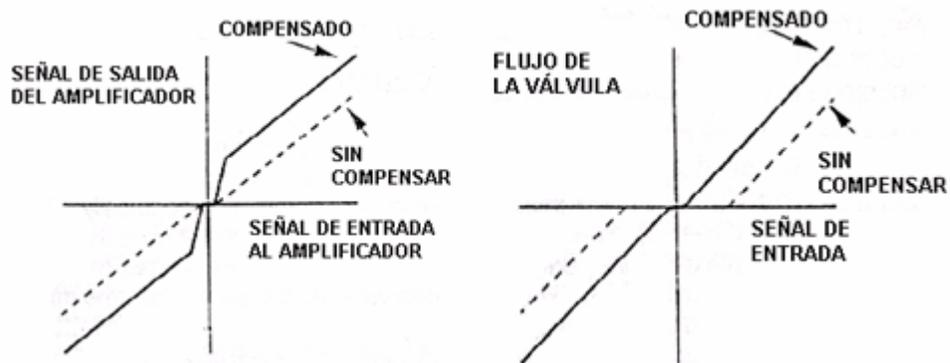
Figura 4.6 Superposición del spool



Principles of Proportional Valves Vickers

Si esta característica no se desea puede eliminarse o por lo menos reducirse considerablemente con una corriente mínima en el amplificador o incrementando la sensibilidad del amplificador alrededor de la región nula.

Figura 4.7 Características de la compensación del punto muerto



Principles of Proportional Valves Vickers

Con la compensación máxima por consiguiente, una señal de entrada muy pequeña causará que el spool de la válvula salte el punto muerto, eliminando este efecto.

- **Funciones de Rampa.** En el amplificador se incluye una función ajustable de rampa, donde un potenciómetro ajustará el ángulo o la pendiente de la señal de rampa en lugar del tiempo de rampa. Si por ejemplo la función de rampa se ajusta para dar 2 segundos de rampa a la señal de salida, el tiempo tomado para alcanzar el 50% de la señal de salida será de 1 segundo.

Figura 4.8 Ajuste de rampa para una señal de salida

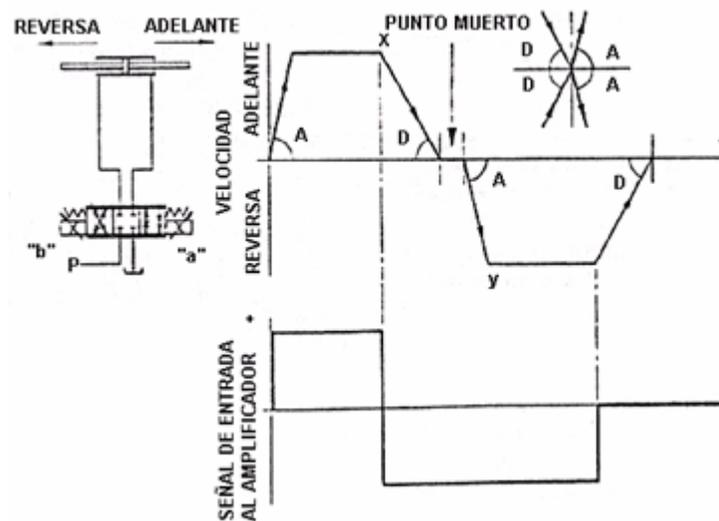


Principles of Proportional Valves Vickers

- **Reconocimiento del Cuadrante.** En el contexto de los amplificadores para válvulas proporcionales direccionales, el término de cuadrante es utilizado para describir la acción de funciones de rampa. Básicamente describe el control de aceleración y desaceleración en ambas direcciones del movimiento del actuador. Si se considera un actuador controlado por una válvula proporcional como se muestra en la figura 4.9, energizando el solenoide "a" moverá el pistón del cilindro hacia adelante. La aceleración puede ser controlada por la aceleración de rampa "A". Para el movimiento de reversa del pistón, éste se desacelera inicialmente a una razón determinada por la aceleración de rampa "D". Cuando el solenoide cruza el centro, el solenoide "b" se energiza y el cilindro acelera en reversa de

nuevo a la razón de aceleración de rampa "A". Como se puede ver en consecuencia, entre los puntos X y Y, el spool se mueve en la misma dirección que el cuerpo de la válvula, pero la velocidad del movimiento del spool puede cambiar si llega a cruzar la posición central. Este cambio automático es conocido como el reconocimiento del cuadrante.

Figura 4.9 Reconocimiento del cuadrante



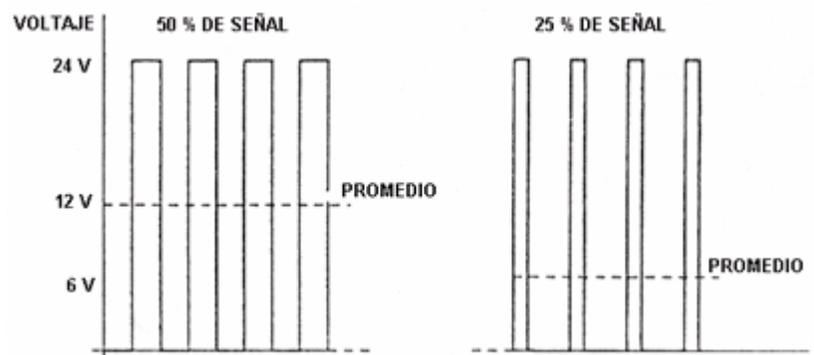
Principles of Proportional Valves Vickers

- **Señal Vibratoria.** Todos los movimientos de los componentes mecánicos elevan las fuerzas de fricción el cual crean histéresis. Esto puede ser reducido por medio de la oscilación del componente en movimiento como lo es el spool muy ligeramente a alta frecuencia. Para ello, una señal AC de baja amplitud y alta frecuencia (50 -100 Hz) es sobrepuesta sobre la señal actual en el solenoide. Esta es llamada señal vibratoria. Algunas veces la amplitud de esta señal es ajustada con el amplificador mientras que en otros casos debe ser prefijada con un valor óptimo. Normalmente esta señal vibratoria es fijada lo mas alta posible sin que cause algún tipo notorio de oscilación en el sistema.

- **Modulación del Ancho de Pulso.** Cuando se utiliza una señal DC con variable infinita para operar el solenoide de una válvula proporcional, el transistor de salida del amplificador actúa como un resistor. Este presenta una caída de voltaje en el suministro, que el solenoide requiere en cualquier momento. La corriente en la bobina es de varios amperios y debe pasar a través del transistor de salida. El resultado de una alta cantidad de corriente y una caída de voltaje es el calor creado en el transistor lo cual requiere una alta disipación de calor.

La modulación de ancho de pulso PWM (pulse width modulation) es una técnica utilizada en algunos amplificadores que presentan este problema. En este caso el transistor de salida es utilizado como un interruptor on/off y alimenta el solenoide con un serie de pulsos on/off a voltaje constante. Los pulsos son a frecuencia constante típicamente de 1 kHz y el nivel de la señal es determinado variando la duración de cada "on" y cada "off". Si la frecuencia del pulso es muy alta para que la válvula responda a cada pulso, el efecto promedio que tendrá sobre la válvula y el solenoide se puede observar en la figura 4.10.

Figura 4.10 Modulación del pulso



Principles of Proportional Valves Vickers

La ventaja de esta técnica es que durante cada pulso "off" por el transistor de salida no pasa corriente y durante cada pulso "on" no hay caída de voltaje teóricamente, en efecto solamente se crea una cantidad de calor muy pequeña.

En la práctica existe una pequeña caída de voltaje en el transistor durante los pulsos “on” y se tomará una cantidad de tiempo en el momento de cambiar de “on” a “off” razón por la cual genera una muy pequeña cantidad de calor.

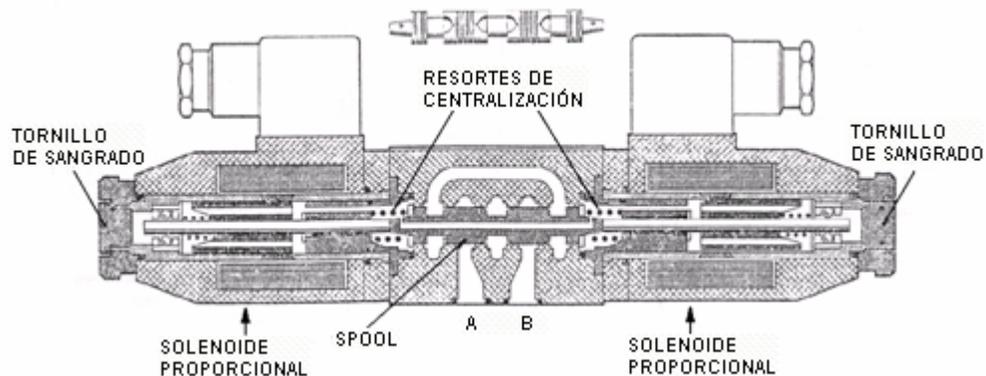
La modulación de ancho de pulso se está estandarizando en todos los amplificadores para reducir el tamaño del amplificador y el gasto de energía evitando así la modificación de los solenoides.

4.3.5 Válvulas Direccionales Proporcionales. Este tipo de válvulas controlan la dirección y la cantidad de flujo hacia un actuador en respuesta a una señal eléctrica. Estas pueden ser operadas directamente con o sin retroalimentación de la posición spool.

- Válvulas Proporcionales Direccionales sin Retroalimentación

Esta válvula utiliza el mismo solenoide y la construcción del spool que una válvula con estrangulaciones.

Figura 4.11 Corte de válvula proporcional direccional sin retroalimentación

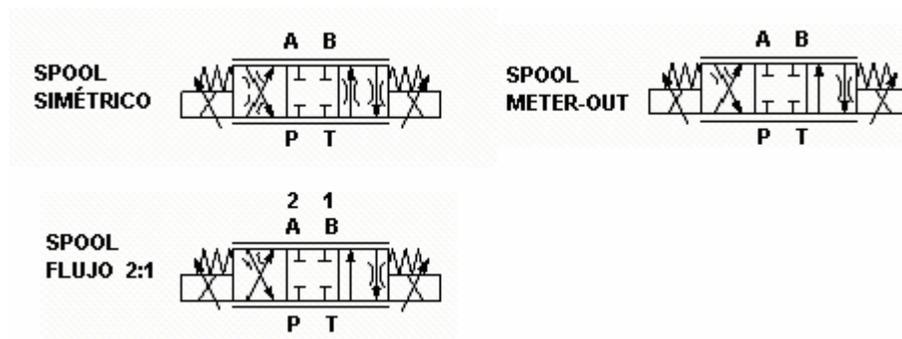


Principles of Proportional Valves Vickers

El flujo a través de la válvula irá desde A y B hasta P y T (ver figura 4.12), dependiendo de que solenoide esté energizado y del nivel de la señal de entrada, se controlará la apertura del spool.

Existen diferentes condiciones para el centro del spool, como por ejemplo todos los puertos bloqueados o A y B con sangrado al tanque. Los spool tienen diferentes características de regulación como se ve en la figura 4.12.

Figura 4.12 Configuraciones típicas del spool



Principles of Proportional Valves Vickers

El spool simétrico tiene restricciones de flujo en los cuatro puertos y regula el flujo en la entrada y la salida del actuador.

Los spool “meter-out” regulan únicamente los conductos de retorno al tanque. Los conductos en este caso son similares a una válvula de conmutación donde hay una cierta cantidad de restricción y en efecto una leve caída de presión a través de estos conductos.

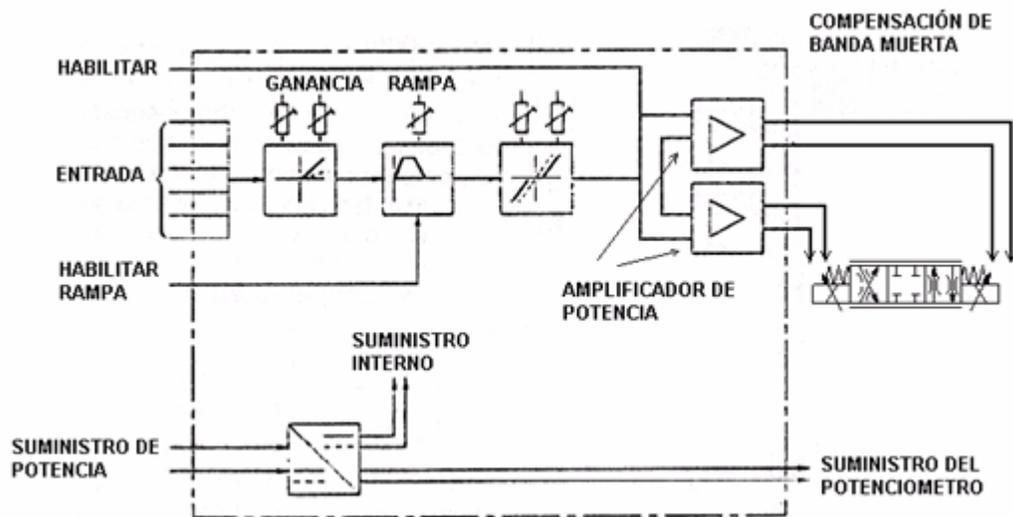
Los spool con razón de flujo 2:1 están diseñados primordialmente para actuadores con áreas desiguales. En este caso el hay dos veces la entalladura en dos conductos del spool comparados con los otros canales; esto significa que habrán dos restricciones en el conducto A comparado con el B.

Este tipo de válvula sin retroalimentación proporciona cierta cantidad de compensación de presión. Así como hay caída de presión y la razón de caudal

aumenta, las fuerzas del flujo se incrementan y actúan en oposición al solenoide. Esto produce una pequeña apertura del spool y significa que si se incrementa la caída de presión dentro de la válvula no produce un incremento correspondiente en el caudal.

El amplificador de control para válvulas sin retroalimentación, se puede observar en la figura 4.13.

Figura 4.13 Amplificador en v. proporcionales direccionales sin retroalimentación

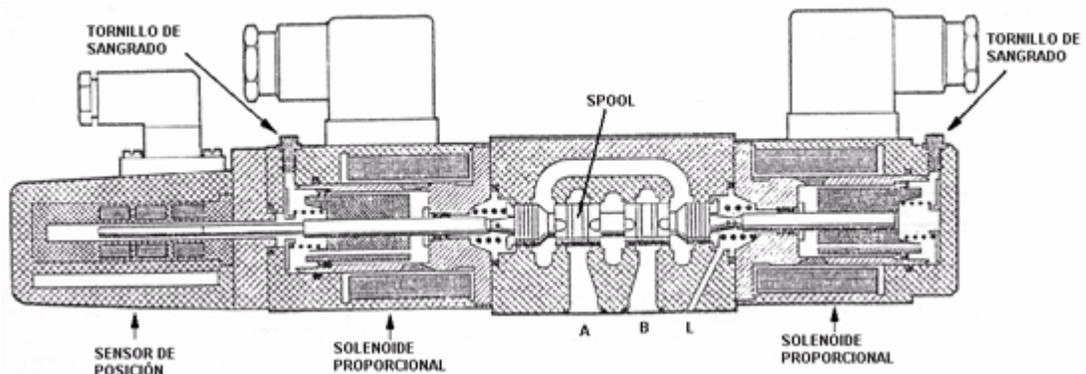


Principles of Proportional Valves Vickers

La señal de control de entrada puede ser voltaje o corriente. Dependiendo de la polaridad de la señal de entrada los solenoides se energizarán para mover el spool a los lados de la posición central. El ajuste de ganancia individual se proporciona a ambas direcciones de movimiento conjuntamente con el ajuste de rampa y la compensación de banda muerta. La señal de entrada condicionada se suma con una señal vibratoria predeterminada y se conduce a la etapa de salida del amplificador.

- **Válvulas Proporcionales Direccionales con Retroalimentación.** Este tipo de válvula emplea un sensor de posición (LVDT) habilitando al spool posicionarse con alta precisión en el cuerpo de la válvula. Al utilizar el sensor la carrera del spool se controla e independientemente del flujo, presión o fuerzas de fricción la posición únicamente se determina por la señal. Por tal razón, la válvula no está provista de compensación de presión como en el caso de las válvulas sin retroalimentación; el flujo está en función de la apertura del spool y la caída de presión. La máxima cantidad de caudal de la válvula está determinada por el diferencial de presión. Normalmente los sistemas están diseñados para mantener estas caídas de presión al mínimo, pero en casos donde se requiere que la válvula proporcional desacelere un actuador o controle una carga negativa, la caída de presión será alta.

Figura 4.14 válvula proporcional direccional con retroalimentación

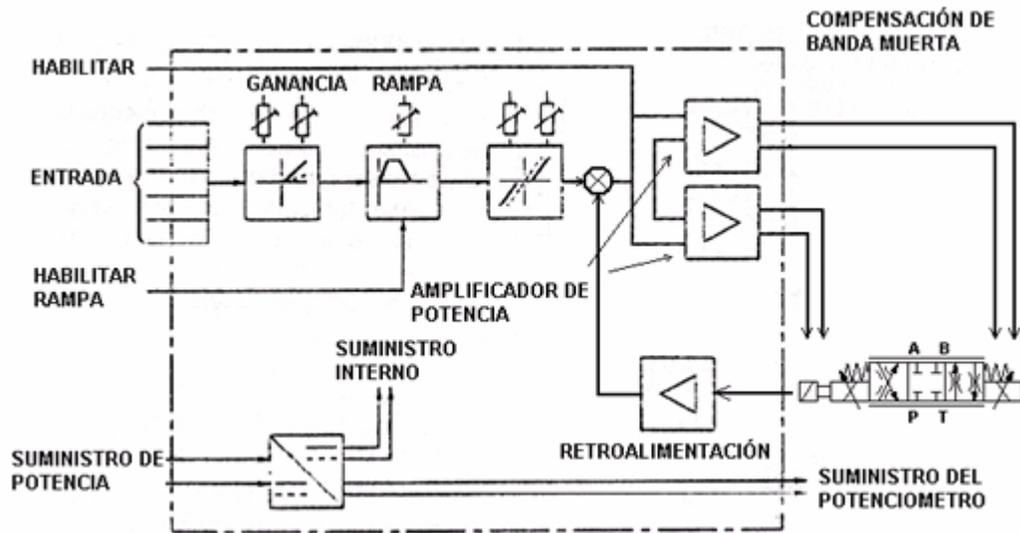


Principles of Proportional Valves Vickers

La figura 4.15 muestra el amplificador para válvulas proporcionales direccionales con retroalimentación. La función del amplificador es similar al amplificador para válvulas sin retroalimentación, a excepción de la señal de retroalimentación (LVDT) provista por la válvula. Esta señal de retroalimentación se suma a la señal

de entrada ya condicionada y la señal con error resultante es conducida a la etapa de salida.

Figura 4.15 Amplificador en v. proporcionales direccionales con retroalimentación



Principles of Proportional Valves Vickers

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1 DESCRIPCIÓN SISTEMA HIDRÁULICO HELICÓPTERO BELL 212/412

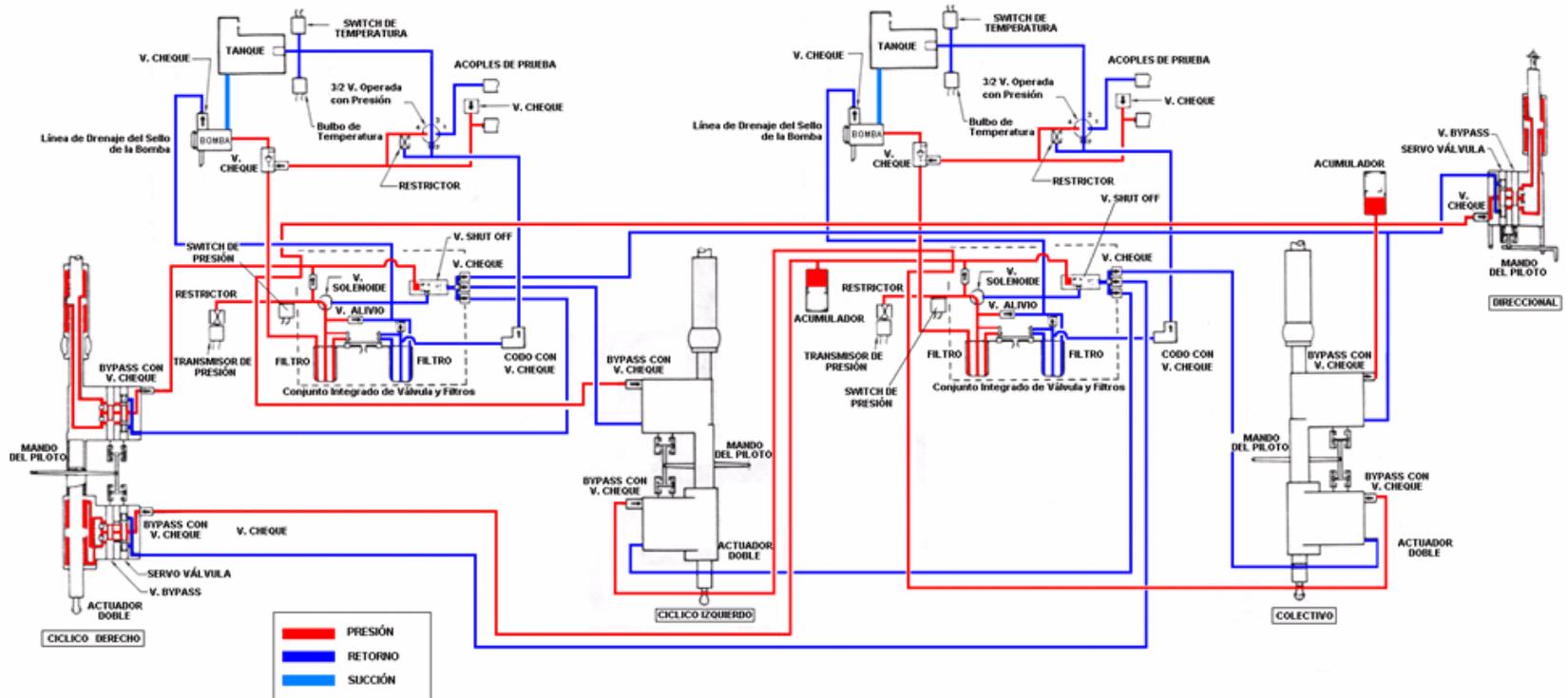
El helicóptero Bell 212, posee tres (3) sistemas hidráulicos. Los dos sistemas de potencia para el control de vuelo, se refieren al “Sistema Hidráulico de Control de Vuelo”. El tercer sistema entrega potencia al freno del rotor. Si se instala un tren de aterrizaje se incluiría un cuarto sistema hidráulico para los frenos de las ruedas. Cada sistema es completamente separado e independiente de los otros sistemas, incluye tanque, bomba, actuadores hidráulicos, líneas hidráulicas, capacidad de control y luces asociadas con precauciones y alertas. (Ver figura 5.0).

El cambio de paso en los rodamientos del rotor principal no se efectúa, a menos de que exista alguna forma de asistencia. En adición a fuerzas aerodinámicas que actúan sobre el rotor principal y el rotor de cola, causan elevadas cargas de reacción en los controles en cabina. Los sistemas hidráulicos N° 1 y N° 2 proveen esa asistencia en el movimiento de los controles de vuelo y contrarrestan las reacciones dinámicas.

Los servo-actuadores van montados en medio de los controles de cabina y las conexiones de los controles de vuelo al sistema del rotor, suministrando al piloto la ventaja mecánica necesaria para mover los controles, mientras al mismo tiempo se amortiguan las reacciones dinámicas.

Los controles del rotor principal, incorporan tres (3) servo-actuadores dobles accionados ambos por los sistemas hidráulicos N° 1 y N° 2. Dos de los servo-actuadores son usados para el control cíclico, y el servo restante ejecuta su función sobre el control colectivo. Los controles del rotor de cola, incorporan un cuarto actuador de simple acción, movido únicamente por el sistema hidráulico N° 1. Cada sistema hidráulico es totalmente separado e independiente de los otros sistemas, y cada servo-actuador doble tiene una sección separada de actuación por el fluido hidráulico de cada sistema (ver figura 5.1).

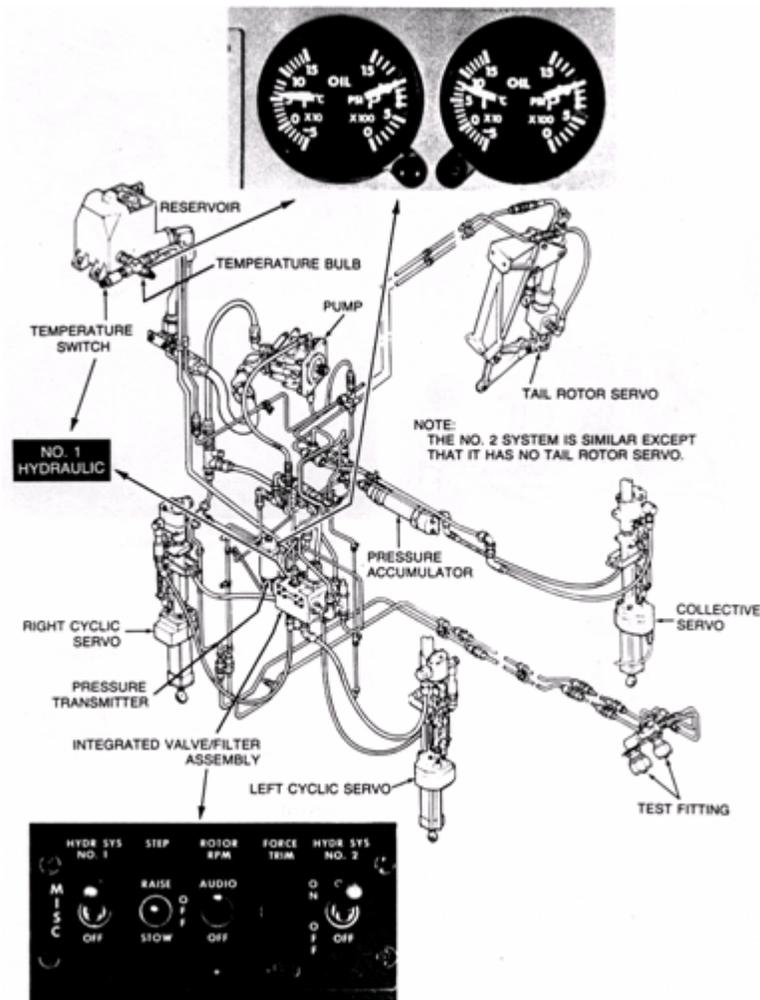
Figura 5.0 Sistema Hidráulico del Helicóptero BELL 212



Bell 212 Pilot Training Manual

El fluido es suministrado desde el depósito hacia la bomba. Es enviado presurizado al sistema a través de una válvula cheque y un filtro que normalmente se encuentra abierto, el solenoide opera el sistema de corte de la válvula; cuando el interruptor del sistema hidráulico esta en posición "ON", esta válvula es abierta y es suministrada presión al sistema (a los (4) cilindros). La presión nominal del sistema es de 1000 ± 25 psi producida y compensada por la bomba. El fluido hidráulico utilizado es MIL-H-5606.

Figura 5.1 Sistema Hidráulico de Control



Bell 212 Pilot Training Manual

5.2 COMPONENTES DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Cada sistema hidráulico está provisto de tanque, bomba, bulbo de temperatura, switch de temperatura³, conjunto integrado de válvula y filtro, transmisor de presión, switch de presión⁴, conjunto de válvula cheque, instrumentos, servos hidráulicos, acoplamientos, líneas y actuadores SCAS (sistema de aumento de control y de estabilidad). El tanque del sistema N° 1 está situado a la derecha y el tanque del sistema N° 2 en la izquierda, son iguales e intercambiables. Los switch del sistema hidráulico, usan 28 voltios corriente directa, que envían a través de los "Circuit breakers"⁵ para encender o apagar cada sistema. Cada sistema tiene su propio medidor de presión y de temperatura.

La mayoría de componentes del sistema hidráulico, incluyen tres servo-actuadores dobles, localizados en la transmisión, en el área del pylon. El servo-actuador simple del rotor de cola se localiza en el compartimiento del calentador.

5.2.1 Tanques. Cada tanque está fabricado en magnesio, y tiene una capacidad aproximada de 53 pintas (25 litros) de rebosamiento. Los tanques hidráulicos están montados en el techo de la cabina, adelante de la transmisión principal. El líquido hidráulico de cada tanque fluye por gravedad a la bomba asignada. El depósito, tiene cuatro (4) puertos para conectar tubería flexible. El orificio mayor, es la línea de abastecimiento hacia la bomba (succión y gravedad). El siguiente puerto, es el retorno del sistema.

La otra línea es de drenaje de la boca de relleno. La otra abertura posee un tapón para drenar el tanque. El sistema no tiene una válvula de drenaje. En la parte superior del tanque, se encuentra la ventilación, que es una malla de 30 por 30 fabricada en MONEL. La boca de relleno tiene una malla en MONEL de 160 por 160. En la línea de retorno, se encuentra una malla de 100 por 100, que evita la

³ Swtich de temperatura, interruptor que activa la luz de "alta temperatura" en el panel de precauciones.

⁴ Switch de presión, Presóstato.

⁵ Circuit breaker, interruptor automático.

formación de espuma en el tanque. El indicador de nivel se encuentra en el exterior de cada tanque y puede ser visto a través de agujeros en el área de refrigeración del plato oscilante. Este visor está localizado en la parte de afuera para facilitar la visibilidad del fluido. El visor de nivel debe permanecer lleno de fluido hidráulico MIL-H-5606 de color rojo.

5.2.2 Bombas. La bomba hidráulica es utilizada para dar potencia a los dispositivos de actuación hidráulica del sistema. Esta entrega un flujo no pulsante, variando el volumen requerido para la operación del equipo en el sistema. El control de operación de la bomba reúne las demandas del sistema hidráulico, proporcionadas por un control automático e integral de presión. Es importante que la cubierta de la bomba esté completamente llena de fluido hidráulico antes de funcionar. Las partes internas dependen de la lubricación del fluido. La cubierta de la bomba debe estar llena hasta el puerto de drenado.

Las bombas son de tipo de pistón, caudal variable y presión compensada. Están montadas en los engranajes de accesorios adyacentes al generador tacómetro en el sumidero de la transmisión. Además que las bombas operan a diferentes velocidades, ambas son de caudal variable y entregan 1000 ± 25 Psi de presión. Las bombas tienen cuatro conexiones para proveer conexión a la succión, presión, lubricación de la bomba y goteo de drenaje; la mayor es la entrada de fluido hidráulico, la siguiente es la salida de presión (parte superior de la bomba). Existe una válvula cheque en la salida, donde fluye hacia el retorno el fluido que ha sido utilizado para lubricar internamente la bomba. En la parte inferior está la línea de drenaje del sello de la bomba.

Si la presión del sistema no está dentro de los límites de operación 900 - 1000 psi, se debe reemplazar, puesto que esta regula la presión del sistema. La bomba hidráulica del sistema N° 1 está instalada en la caja de accesorios y gira a 4300 RPM en sentido antihorario; tiene una capacidad de entrega de 6.1 G/min. La bomba hidráulica del sistema N° 2, esta montada en la parte delantera de la caja

principal y gira en sentido horario a 6600 RPM, tiene un caudal de 5.6 G/min. Las particularidades de la bomba se encuentran en la tabla 5.0.

Tabla 5.0 Características de la bomba

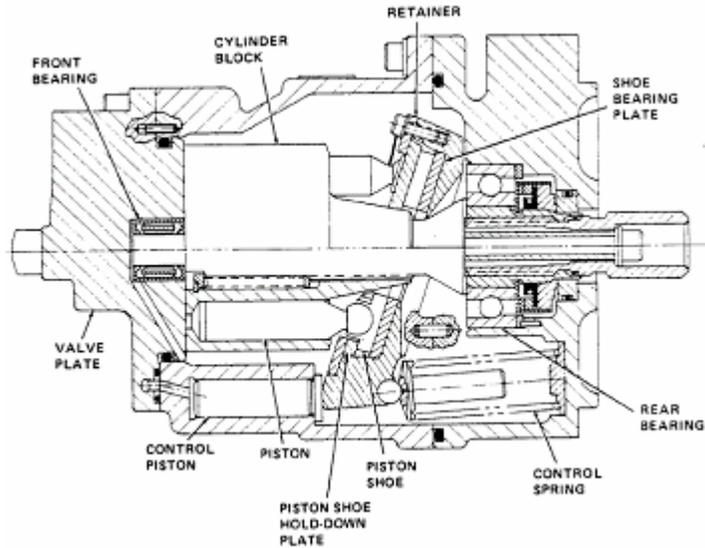
Propiedades	
Presión nominal de Descarga	1000 psig ± 25 psig
Velocidad normal	6600 RPM
Presión mínima del fluido	900 psia
Temperatura de entrada del fluido	120 °F ± 10 °F
Presión nominal de entrada (flujo completo)	6.7 psia
Entrega nominal	El caudal de la bomba está de 5.6 G/min a 6600 RPM, 120 °F de temperatura de entrada, presión de entrada 6.75 psig y 900 psig (min) de presión con flujo completo
Fluido	MIL-H-5606
Rotación	Sentido antihorario visto desde el eje de transmisión
Puertos	
Puerto de Entrada	1 pulg. Tubo 1-5/16-12 UNJF-3B rosca
Puerto de Salida	½ pulg. Tubo ¾-16 UNJF-3B rosca
Puerto de drenado de carcasa	⅜ pulg. Tubo 9/16 -18 UNJF-3B rosca
Puerto de drenado (sello)	¼ pulg. Tubo 7/16 -20 UNJF-3B rosca

Bell 212 Component Repair and Overhaul Manual

- **Operación de la bomba:** Al rotar el eje, hace que los pistones recprocuen dentro de los cilindros de bloqueo. Las zapatas de los pistones están sujetas contra la superficie de un rodamiento por la fuerza de compresión durante la carrera de descarga. La zapata mantiene abajo el plato y lo retiene durante la carrera de toma.

Durante la carrera de toma, cada zapata del pistón sigue la zapata del rodamiento del plato (fuera del plato). El pistón es retirado del cilindro de bloqueo como también el fluido que se encuentra adentro. Una mayor rotación del eje conductor hace que el pistón siga la zapata del rodamiento del plato, produciendo la carrera de descarga. El fluido es entonces expulsado del agujero del cilindro de bloqueo.

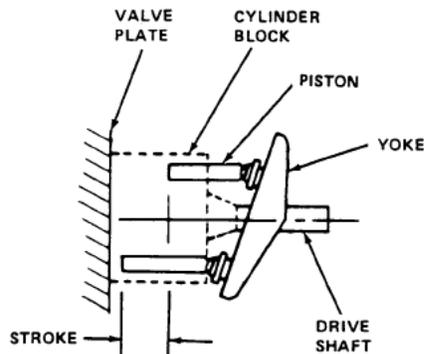
Figura 5.2 Sección Transversal de la Bomba



Bell 212 Component Repair and Overhaul Manual

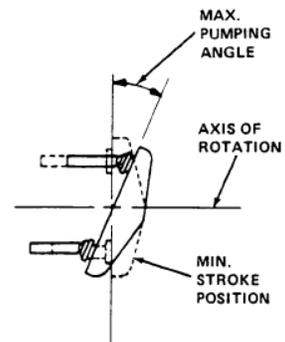
La carrera del pistón es controlada por el ángulo de la guía, el cual es regulado por la válvula compensadora.

Figura 5.3 Acción del Pistón



Bell 212 Component Repair and Overhaul Manual

Figura 5.4 Función de la Guía

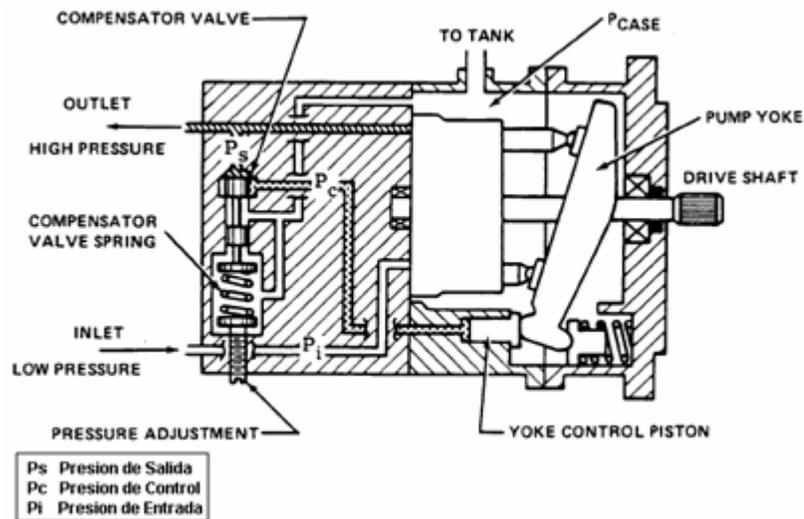


Cuando no hay carga en la bomba, la guía tiene su máximo ángulo. Cuando la carga se incrementa, la presión de salida aumenta. Cuando la presión de salida es

suficiente para contrarrestar la fuerza del resorte compensador, el spool de la válvula compensadora se mueve hacia abajo, calibrando la presión de control para dirigir la guía. Esto hace que el ángulo de la guía decrezca.

Si la carga de la bomba decrece, la presión de salida disminuye. Esto permite que el spool compensador sea desplazado hacia arriba por el resorte, abriendo el pistón de control de la guía, con el fin de ajustar la presión y así reducir la presión de control. El resorte de la guía de control determinará el incremento en el ángulo de la guía.

Figura 5.5 Operación del Compensador



Bell 212 Component Repair and Overhaul Manual

5.2.3 Conjunto Integrado de Válvula y Filtros. El conjunto integrado de válvula y filtros proveen funciones de filtrar, sensar y aliviar presión, desviar el fluido y controlar el sistema.

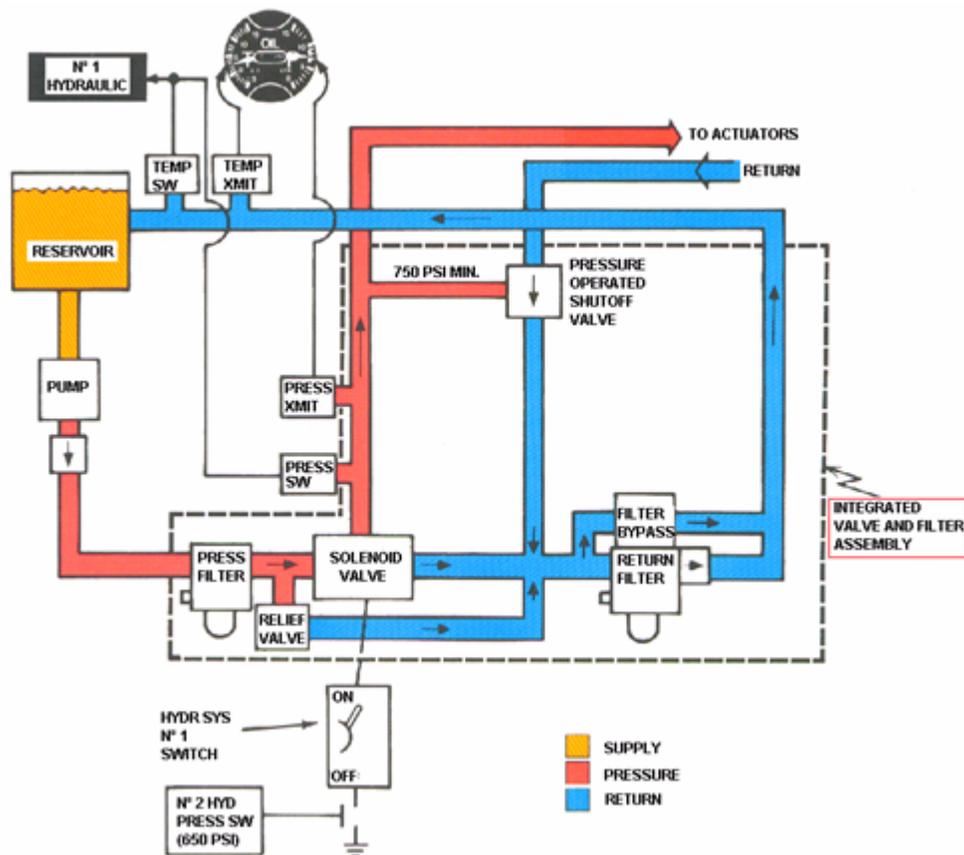
El conjunto integrado de válvula y filtros se conforma de:

- Filtro de Presión
- Válvula de Alivio
- Válvula Solenoide

- Filtro de Retorno
- Válvula Shutoff Operada por Presión
- Sensor de Presión
- Switch de Presión

En la figura 5.6, se muestra el esquemático del sistema hidráulico, señalando el conjunto válvula integrada y filtros.

Figura 5.6 Esquemático del Sistema Hidráulico



Bell 212 Pilot Training Manual

5.2.4 Filtro de Presión. El fluido presurizado entra al conjunto y es filtrado por medio del filtro de presión, asegurando limpieza. El filtro de presión no tiene

bypass y si se obstruye, el fluido cesa. Los filtros se encuentran instalados en la parte inferior del conjunto integrado de válvula y filtro; son metálicos con capacidad filtrante de 15 micrones. Un sistema de indicación remoto está localizado en la estructura del helicóptero (nariz del helicóptero) y permite verse a través de una ventana al lado del piloto. Cuando la presión diferencial a través del elemento filtrante excede 70 ± 10 psi, el indicador cambia de verde a rojo y muestra que alguno de los cuatro filtros hidráulicos del conjunto está obstruido. La indicación de un filtro tapado requiere acción de mantenimiento.

5.2.5 Válvula de Alivio de Presión. La válvula de alivio del sistema, está instalada en la parte superior del conjunto integrado. Tiene la función de proteger el sistema en caso de presión excesiva por algún fallo de la bomba. El fluido que sale del filtro de presión y se dirige a la válvula solenoide, pasa por la válvula de alivio, el cual ventea y retorna al tanque cuando la presión excede 1100 psi. Si la presión del sistema llega a 1100 psi la válvula de alivio empieza a abrirse, y al alcanzar 1400 psi, está completamente abierta.

5.2.6 Válvula Solenoide. La válvula solenoide, está instalada en la parte superior del conjunto integrado de válvulas y filtro, comandada por el switch instalado en la parte superior del pedestal. Estando el switch en posición ON, la válvula solenoide estará desenergizada suministrando presión al sistema y con el switch en OFF, se energiza la válvula quedando el sistema hidráulico sin presión.

La válvula solenoide controla la operación del sistema hidráulico. Cuando abre, permite que el fluido presurizado se dirija al sensor de presión, el fluido retorna a la válvula shutoff y a los servo-actuadores. Cuando cierra, la válvula desvía el fluido presurizado devuelta al tanque a través del filtro de retorno. Cada válvula solenoide está cargada con un resorte para abrir y está separadamente controlada con el switch del sistema hidráulico en el centro del pedestal. Cada válvula solenoide es alimentada independientemente por 28 voltios de corriente directa,

proporcionados a través del “Circuit breaker” del sistema hidráulico. La potencia eléctrica para el switch de cada válvula, se suministra a través de otro switch de presión del sistema hidráulico. Cuando el sistema hidráulico está encendido, no se aplica potencia eléctrica a la válvula solenoide, y el resorte mantiene la válvula abierta.

Si un sistema está apagado, la potencia eléctrica se aplica a la válvula solenoide (sistema N° 1 o 2) y vence el resorte que cierra la válvula. Cuando el sistema está encendido la electricidad es removida de la válvula solenoide y el resorte la válvula abre. Como el helicóptero no puede ser controlado con seguridad en vuelo sin potencia hidráulica, un interconector eléctrico se provee de dos (2) switch de control del sistema hidráulico para asegurar que ambos sistemas no se puedan apagar al mismo tiempo. El sistema de interconexión es ejecutado por la corriente directa para cada válvula solenoide a través del switch de presión del otro sistema hidráulico.

Con ambos switch “HYDR SYS” encendidos y ambos sistemas hidráulicos operando normalmente, cualquier sistema puede ser puesto en OFF, haciendo que la respectiva válvula solenoide desvíe el fluido presurizado al filtro de retorno y vuelva al tanque. Con un sistema puesto en OFF, la pérdida de presión hidráulica en el sistema apagado permite que el switch de presión del sistema se cierre, cortando el suministro de corriente eléctrica al otro switch “HYDR SYS” del sistema hidráulico y deshabilita la operación de la válvula solenoide del otro sistema. Con un sistema hidráulico apagado, el otro switch “HYDR SYS” para ser posicionado en OFF, pero sin corriente eléctrica la válvula solenoide no cierra y el sistema permanece encendido. La conexión eléctrica en cruz de un sistema hidráulico a través del switch de presión de otro sistema referido como el “interlock eléctrico”, fue especialmente diseñado en los sistemas para prevenir que el piloto apague ambos sistemas en vuelo.

Igualmente, si ambos sistemas hidráulicos están encendidos y se encuentren operando normalmente, y alguno de ellos en dado caso pierde presión, el sistema

restante no puede ser desactivado, porque la pérdida de presión en un sistema deshabilita el otro switch “HYDR SYS” del sistema.

Si un sistema operativo es puesto en OFF intencionalmente, y el otro sistema pierde presión, el sistema que está inactivo, se enciende.

5.2.7 Filtro de Retorno. El fluido hidráulico utilizado entra de nuevo al conjunto de válvula integrada y filtro, a través de las válvulas cheques proporcionando fluido de retorno que abre la válvula shutoff. El flujo se dirige hacia el filtro de retorno, efectuando una filtración adicional. Una válvula bypass esta incorporada en filtro de retorno, permitiendo que el fluido continúe en caso de alguna obstrucción. El bypass se abre con un diferencial de presión en el filtro de 100 ± 10 psi.

El filtro de retorno incluye un indicador remoto, que se activa si el fluido es desviado por el bypass. A través del indicador se muestra que hay obstrucción en el filtro, cambiando de color verde a rojo.

El fluido hidráulico que sale del filtro, deja el conjunto a través de líneas externas y se dirige de vuelta al conector del retorno del tanque. Este accesorio de conexión incluye un bombillo y un switch de temperatura.

5.2.8 Válvula “Shutoff” de Retorno. El conjunto integrado de válvula y filtro, contiene la válvula shutoff operada por presión. Al presurizarse el fluido hidráulico, se provee lubricación a los servo-actuadores. La válvula shutoff, está instalada en cada sistema para desviar el fluido hidráulico de los servo-actuadores si hay pérdida de presión en las bombas.

Si la presión nominal del sistema está encima de 750 psi, vence el resorte cargado que abre el retorno de la válvula shutoff, y el líquido hidráulico usado en los servo-actuadores, retorna al depósito y se reutiliza. Si la presión del sistema está por debajo de 750 psi, el resorte cierra la válvula shutoff y desvía el fluido hidráulico de las líneas de excavación del servo-actuador para dar lubricación, evitar bloqueos y

haciendo irreversibles los servos hidráulicos. Al asilar los servos del sistema y encontrarse en OFF, esta válvula está completamente abierta a 750 psi y se cerrada a 600 psi.

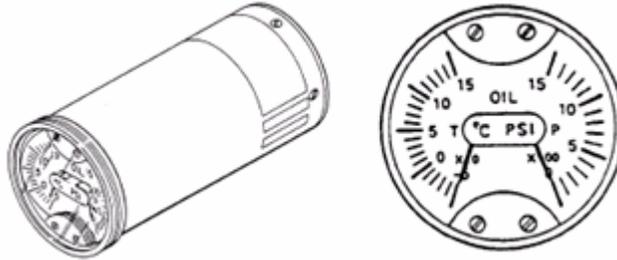
5.2.9 Sensado de Presión. El sensado de presión dentro del conjunto integrado de válvula y filtro, está compuesto de switches de presión y transmisores de presión.

El switch de presión trabaja con 28V DC. Enciende la luz hidráulica en el panel de precaución cuando la presión baja a 600 psi, y apaga la luz si la presión alcanza 750 psi.

Los transmisores de presión, funcionan con 26 voltios de corriente alterna, e indican la presión actual en el sistema en psi además de la temperatura apropiada. El transmisor de presión del sistema N° 1 está ubicado a la derecha del conjunto integrado de válvula y filtro N° 1. En la parte delantera de la viga transversal, el transmisor de presión del sistema N° 2 está ubicado en la parte derecha del compartimiento del panel o de carga.

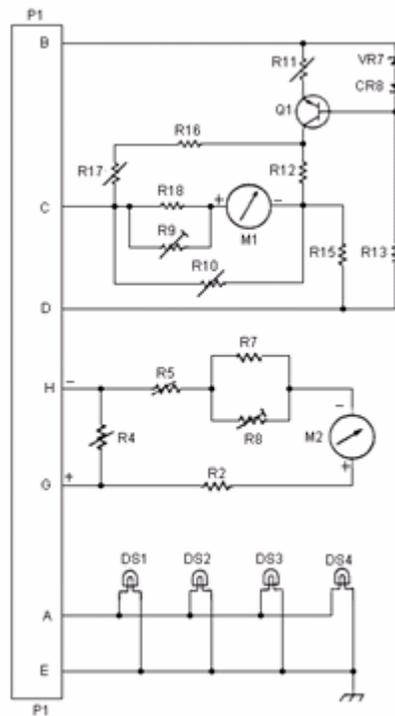
- Medidores de Presión y Temperatura. A la entrada del tanque se encuentra el bulbo y el switch de temperatura. El bulbo de temperatura opera con 28 voltios DC y transmite una señal, indicando la temperatura del fluido hidráulico al instrumento. Los indicadores de presión y temperatura están contenidos en un indicador, el cual muestra la presión y temperatura del aceite en el sistema hidráulico como se muestra en la figura 5.6. El indicador consiste en dos medidores de movimiento, un conjunto medidor de seguridad y un conjunto impreso del circuito montado en la estructura y encerrado en un estuche cilíndrico. El indicador contiene luces internamente que iluminan la cara del medidor. El indicador está conectado a recursos de señales remotas, localizados en el sistema hidráulico.

Figura 5.7 Indicador de presión y temperatura



Bell 212 Component Repair and Overhaul Manual

Figura 5.8 Circuito de indicación de temperatura



Bell 212 Component Repair and Overhaul Manual

El circuito de temperatura recibe 28 voltios DC de la fuente de poder, a los pines B (+) y D (-) del conector P1 (Ver Figura 5.8). La señal que entra en la resistencia del bulbo de temperatura es aplicada al pin C en el conector. El transistor Q1, el diodo Zener VR7, y el diodo CR8 proveen corriente regulada al medidor M1. La

resistencia R17 calibra la cantidad de corriente requerida para una indicación mínima (-50° C). La resistencia R11 calibra la cantidad de corriente requerida para una indicación máxima (+150° C).

El bulbo de la resistencia de temperatura provee la variación en la resistencia de la temperatura del circuito, que corresponde a los cambios en la temperatura (un incremento de temperatura causa incremento en la resistencia). El incremento en la resistencia del bombillo de temperatura, causa decrecimiento de la corriente, en el lado positivo del medidor M1. La diferencia de corriente entre los lados positivo y negativo del medidor M1, hacen que se extraiga corriente y se proporcione una indicación visual de temperatura A. La red de compensación de temperatura, consiste en una resistencia R18 y un termistor R9, asegurando que el medidor de indicación no se afecte con la temperatura ambiente. El circuito de presión, recibe un voltaje de entrada de un transmisor de presión externo a los pines G(+) y H(-), del conector P1. La resistencia R5, suministra calibración para una escala de indicación completa. La resistencia R4, provee calibración para una entrada de impedancia de 1K. Las luces del indicador remoto DS1 hasta DS4, son activadas por +5V DC en las entradas de los pines A(+) y E(-) del conector P1.

La tabla 5.1 describe algunas propiedades de los sensores de presión y temperatura.

Tabla 5.1 Características sensor de temperatura y presión

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS
Entrada de Energía	
M1 (Temperatura)	20 a 32 VDC
M2 (Presión)	0 a 1 VDC
Iluminación:	+5 VDC ±1%
Fuerza Dieléctrica:	500 Vrms, 60 Hz, 5 segundos.
Precisión del Medidor	
M1 (Temperatura)	±2% a escala completa
M2 (Presión)	±2% a escala completa
Movimiento Remoto	135° banda tensa
Dimensiones	
Longitud:	4.15 pulg. Máx. (105.41 mm máx.) excluyendo el conector.

Diámetro:	2.00 pulg. Máx. (50.80 mm máx.)
Peso:	8.8 oz máx. (250 gr. Máx.)

Bell 212 Component Repair and Overhaul Manual

5.2.10 Switch de Temperatura. El switch de temperatura usa 28 VDC, para el panel de precaución. Ilumina el segmento “HYDRAULIC” en el panel del helicóptero si la temperatura excede 88° C. La luz de precaución se enciende, cuando la temperatura aumenta y alcanza 88° C, y se apaga cuando la temperatura desciende a 77° C.

5.2.11 Conjunto de Válvula Cheque Operada por Presión. Esta válvula es usada principalmente para modo de falla en la regulación de presión del sistema de control del rotor principal del helicóptero. Las particularidades se pueden observar en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Características conjunto de válvula cheque

PARTICULARIDADES	
<i>Medio de Operación</i>	Fluido hidráulico MIL-H-5606 o MIL-H-6083
Presión	
<i>Operación</i>	1500 psig
<i>Prueba</i>	2250 psig
<i>Abertura</i>	175 psig (máx.) con caudal mínimo de 3 cm ³ por minuto
<i>Rectificación</i>	Comienza con 1000 psig en ambos puertos, la válvula está completamente abierta cuando la presión del cilindro cae a 850 psig (min.). La válvula está completamente cerrada cuando la presión en ambos puertos se reduce a 600 psig (min.).
<i>Explosión</i>	3750 psig
Fugas	
<i>Interna</i>	1 gota por minuto (max) en el puerto de presión de 5 a 2250 psig aplicado al puerto del cilindro.
<i>Externas</i>	-
<i>Estática</i>	Cero gotas de 5 a 2250 psig aplicado a cualquier puerto
<i>Operación</i>	2 gotas (máx.) por 25 ciclos
<i>Caudal</i>	1.0 GPM a 15 psid (máx.) en cualquier dirección con 850 psi en ambos puertos.
Temperatura	

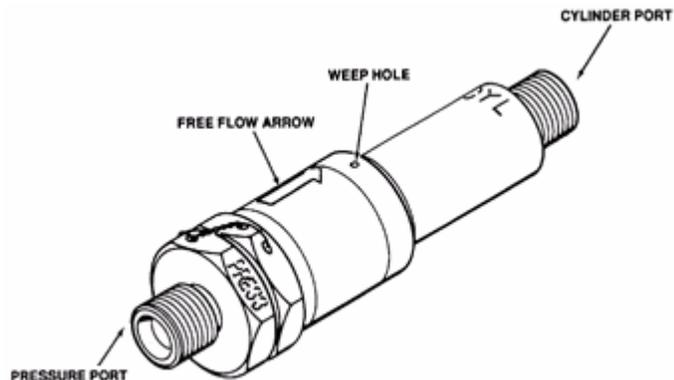
<i>Ambiente</i>	-65° F a +160° F
<i>Operación</i>	-65° F a +275° F
<i>Puertos (2)</i>	¼ pulg. De diámetro MS33514-4
<i>Peso</i>	0.5 lb. (máx.)

Bell 212 Component Repair and Overhaul Manual

La figura 2.5, muestra el conjunto de válvula cheque operada por presión. El conjunto de válvula cheque operada por presión, consiste esencialmente en un terminal y una carcasa que contiene un conjunto de pistón-poppet⁶. El pistón está cargado con un resorte en contra del poppet.

Cuando la presión excede la presión de abertura, el pistón es vencido y permite que fluya liquido en cualquier dirección. Cuando la presión se encuentra por debajo de la presión de abertura, el pistón se asienta en el poppet, previniendo que haya flujo en dirección opuesta.

Figura 5.9 Válvula cheque operada por presión

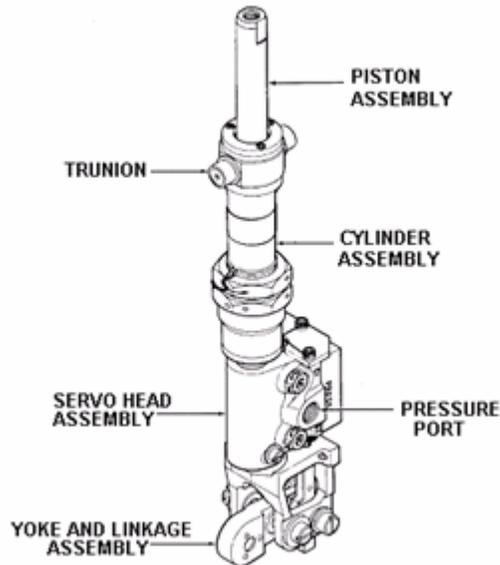


Bell 212 Component Repair and Overhaul Manual

5.2.12 Servo-actuadores. Los servo-actuadores de acción doble y simple, se usan en el sistema hidráulico de control de vuelo.

⁶ Poppet, es el Puerto de ciertas válvulas, el cual bloquea el flujo cuando se asienta.

Figura 5.10 Servoactuador hidráulico



Bell 212 Component Repair and Overhaul Manual

Los servos dos (2) cíclicos y uno (1) colectivo son de doble acción y son movidos por los sistemas hidráulicos N° 1 y 2. El servo de antitorsión (direccional) es de acción simple acción y es movido por el sistema N° 1. El servo-actuador hidráulico consiste en un conjunto de actuador, uno de servo cabeza, un conjunto de la palanca de control del helicóptero y la unión (ver figura 5.10).

El servo-actuador hidráulico consiste en un ensamble de servo-cabeza montado en un ensamble de cilindro. El conjunto de servo-cabeza contiene una servoválvula y una válvula bypass, estas válvulas de control son posicionadas por una palanca de entrada unida a la palanca de control del helicóptero. En el conjunto de servo cabeza, se incorporan válvulas cheque.

Las particularidades del servo-actuador hidráulico están dadas en la tabla 5.3:

Tabla 5.3 Características de los servoactuadores

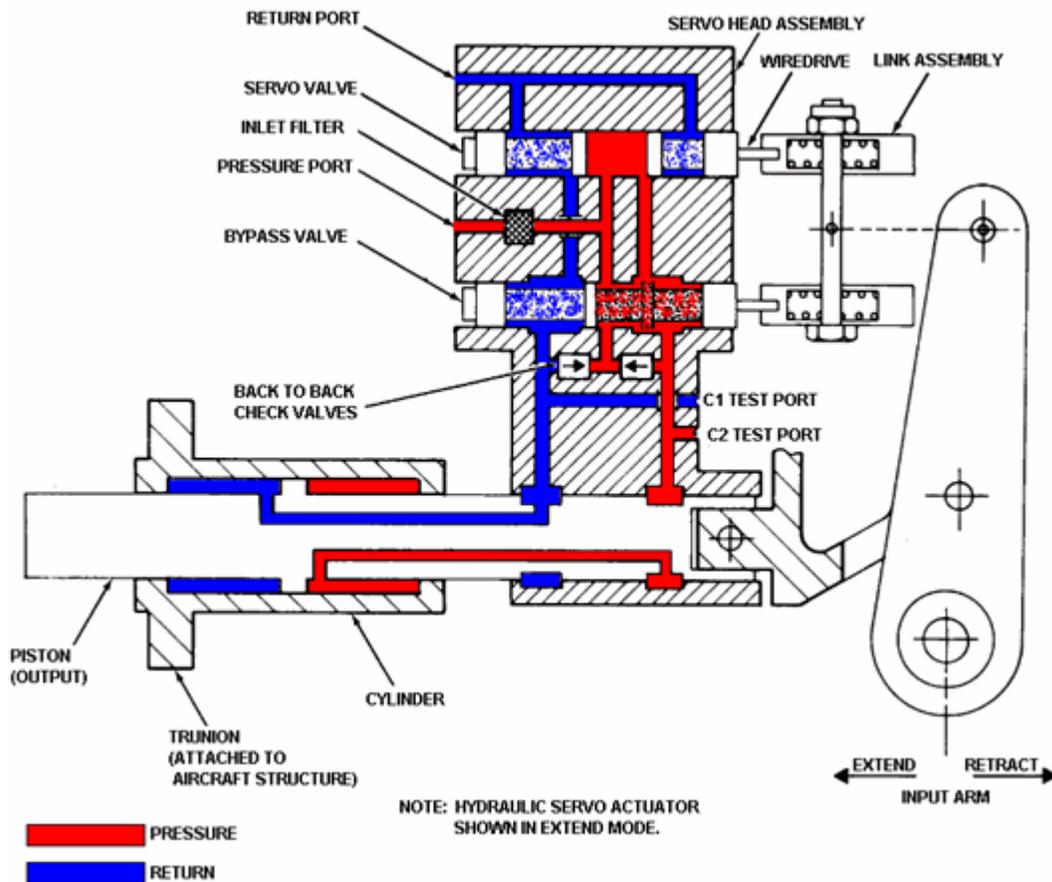
TIPO	SERVO ACTUADOR HIDRÁULICO DE DOBLE ACCIÓN
Medio de operación	Fluido hidráulico MIL-H-5606

Rango de temperatura de operación	-65 °F a +160 °F (-18 °C a +135 °C)
Rango de temperatura del fluido	-65 °F a +160 °F (-18 °C a +135 °C)
Presión de operación	1000 psig
Presión de Prueba	2250 psig
Dimensiones generales: Longitud (retraído)	16.50 pulg. (106.45 cm.)
Área del pistón	0.750 in ²
Área efectiva	0.340 in ²
Ancho	2.75 pulg. (6.98 cm.)
Altura	2.50 pulg. (6.35 cm.)
Peso	5.0 lb. (2.27 Kg.)

Bell 212 Component Repair and Overhaul Manual

La figura 5.11 muestra un esquema hidráulico del servoactuador hidráulico.

Figura 5.11 Esquema del servoactuador hidráulico



Bell 212 Component Repair and Overhaul Manual

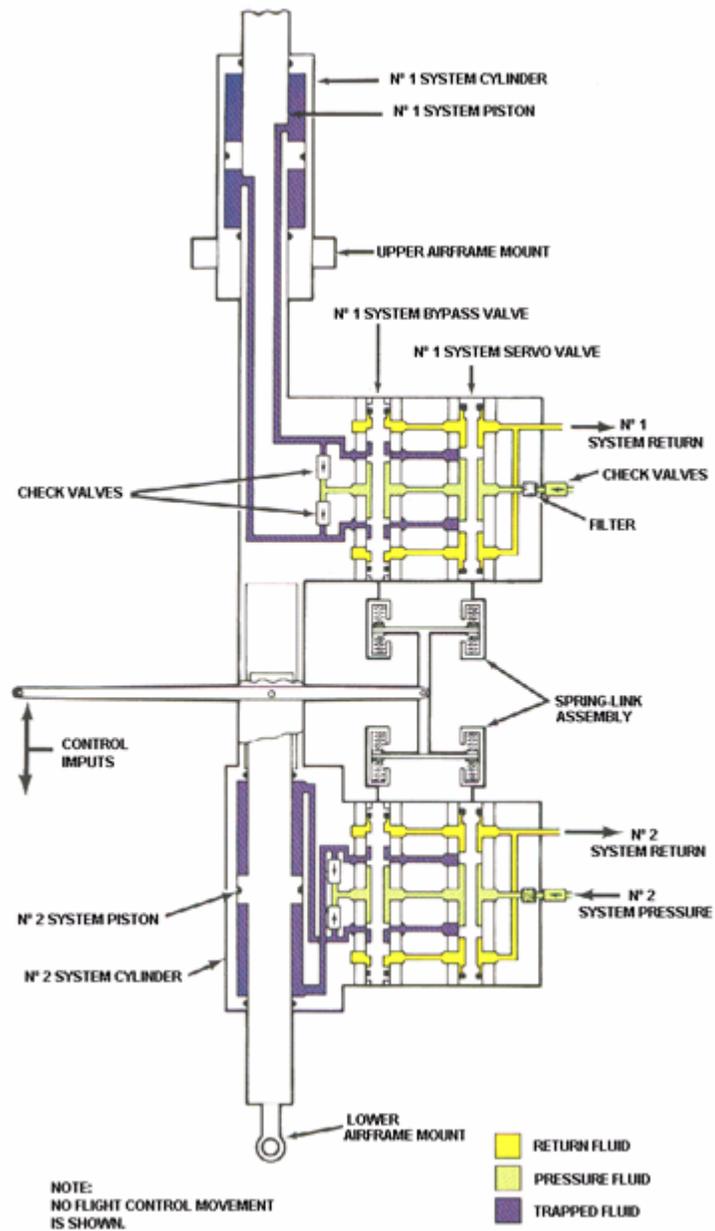
El conjunto del actuador contiene un cilindro (con pernos acoplados), un pistón balanceado (el vástago del pistón se extiende desde cada lado de la cabeza del pistón), y la gorra de un cilindro, los pernos son usados para montar el servo actuador hidráulico. El flujo pasa por el vástago del pistón entre el cilindro y el conjunto de servo cabeza, permitiendo el flujo hacia el lado apropiado de la cabeza del pistón. El ensamble de servo-cabeza contiene los pasajes para el flujo requerido y los puertos necesarios para conexión al sistema hidráulico además de puertos con propósitos de pruebas.

- **Operación.** El servoactuador inferior (sistema N° 2) mueve un cilindro alrededor de un pistón acoplado a una palanca de control. El terminal inferior de la palanca de control está firmemente acoplado a la estructura. El servo inferior es movido arriba o abajo de la palanca de control por el fluido hidráulico que actúa sobre el pistón. El flujo de fluido hidráulico es controlado por una servoválvula conectada a través del conjunto de acoplamiento y la palanca de control.

Cuando el piloto mueve el control de vuelo, la servoválvula se mueve en la dirección correspondiente y dirige el fluido presurizado hacia la parte superior o inferior del pistón. El fluido mueve el servo cilindro arriba o debajo de la palanca de control. Cuando el servo es movido la misma distancia que la palanca que movió la servoválvula, la servoválvula es neutralizada, el flujo de presión se detiene y el movimiento del servo para.

El servo superior, o servo del sistema N° 1, está acoplado a la carcasa del servo cilindro N° 2 y opera un pistón dentro del cilindro que está ensamblado a la estructura cerca de la superficie de la transmisión. La parte superior del pistón se extiende por encima del cilindro y es asegurada al acople del control del rotor principal. El servo pistón superior es movido arriba o abajo dentro del cilindro instalado en la estructura por acción del fluido hidráulico. El flujo es controlado por la servo válvula que está conectada a través del conjunto del resorte que se acopla con la palanca de control de vuelo.

Figura 5.12 Servo-actuador doble (Cíclico)

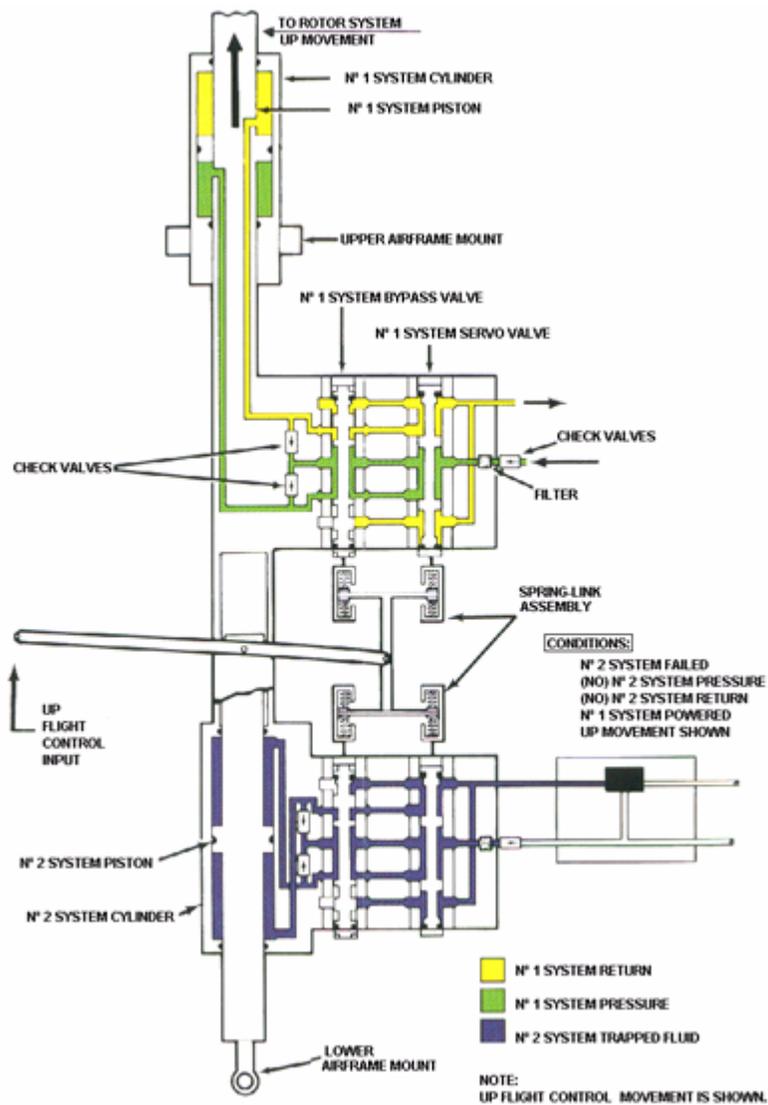


Bell 212 Pilot Training Manual

Cuando el piloto mueve el control de vuelo, la servoválvula superior se mueve en la dirección correspondiente y envía fluido hidráulico encima o debajo del cilindro montado en la estructura. Esto mueve el pistón y el servo arriba o abajo, por

consecuencia el movimiento se transmite al acople del rotor principal. De la misma forma con el servo inferior, al moverse el servo superior arriba o abajo la misma distancia con la palanca lo hace también la servoválvula, quedando neutralizada, así el flujo presurizado es detenido y el movimiento del servo cesa.

Figura 5.13 Servoactuador en condición de falla del sistema N° 2



Con ambos servos instalados en la misma carcasa y actuando conjuntamente en la misma dirección, el movimiento del piloto de los controles de vuelo en cabina, resulta igual en el acople del rotor principal con la ventaja mecánica en ambos sistemas. La falla de uno de los sistemas hidráulicos, significa que alguno de los dos servos no está potenciado. Una válvula cheque de una vía y una válvula bypass controlada por la palanca de control y el conjunto del resorte permiten que el fluido atrapado dentro del cilindro del servo inoperativo, pase atrás y adelante dentro del cilindro asociado.

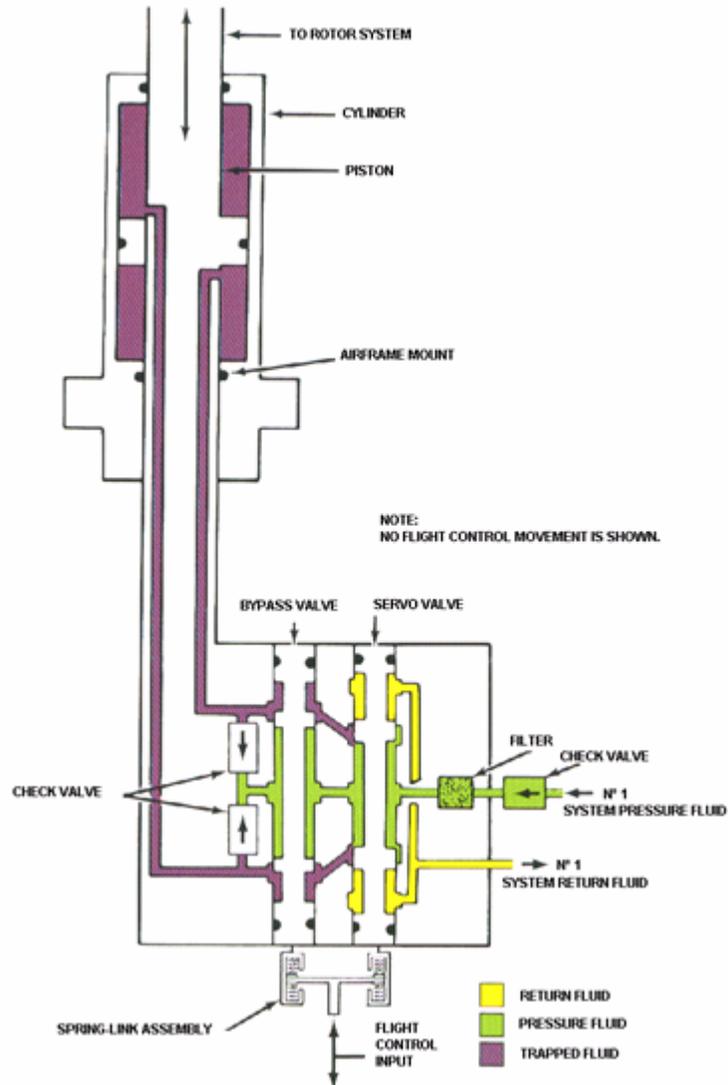
5.2.13 Servo Actuador Sencillo. El servo de antitorsión, movido únicamente por el sistema hidráulico N° 1, opera un pistón dentro de un cilindro que está fijo a la estructura. La parte superior del vástago del pistón, está acoplada a un acoplamiento de control del rotor de cola.

El pistón es movido hacia arriba o abajo dentro del cilindro por el fluido hidráulico que es controlado por la servo válvula que está conectada al conjunto del resorte acoplado a los pedales de antitorsión en cabina (ver figura 5.14).

Cuando el piloto acciona los pedales de antitorsión, la conexión de control de vuelo mueve la servoválvula en la dirección apropiada para enviar fluido hidráulico a ambos lados del servo cilindro. El fluido presurizado mueve el pistón arriba o abajo, transmitiendo así el movimiento directamente al control del rotor de cola. Cuando el servo se ha movido la misma distancia arriba o abajo, la válvula es neutralizada, el fluido presurizado se detiene y el movimiento del servo cesa.

Desde que el rotor de cola no genere fuerzas significantes de retroalimentación, solamente se requiere un servo sencillo potenciado por el sistema hidráulico N° 1. Si el sistema N° 1 falla o es apagado, el piloto puede sin esfuerzos dominar cualquier fuerza de retroalimentación que encuentre. De cualquier forma, en un aterrizaje es recomendado minimizar los movimientos de los pedales del rotor de cola.

Figura 5.14 Servoactuador sencillo (Direccional)

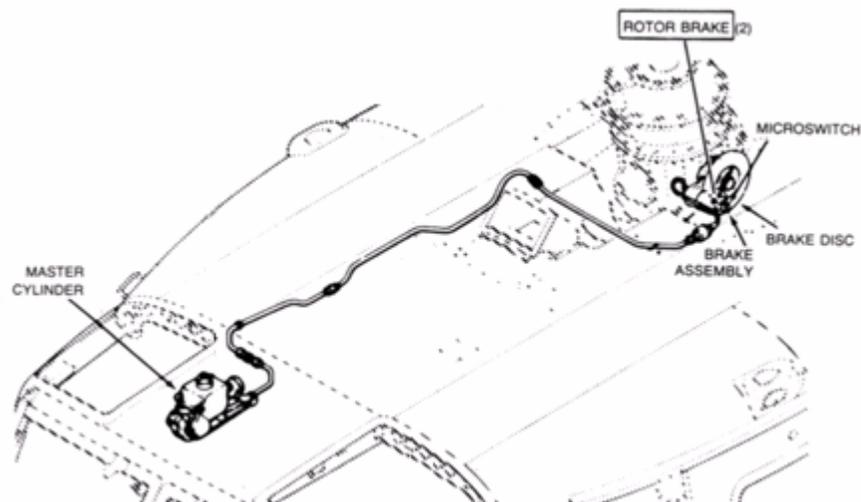


Bell 212 Pilot Training Manual

5.2.14 Sistema Hidráulico de Freno del Rotor Principal. Un disco sencillo del freno del rotor, está instalado al lado izquierdo de la transmisión principal, para proporcionar una desaceleración rápida de los sistemas del rotor, después del apagado del motor. El sistema del freno del rotor, consiste en un freno de disco (conducido por la transmisión), un conjunto de doble freno, una palanca de actuación en cabina, tuberías asociadas y sistema de luces de alerta. El freno del

rotor, solamente debe ser activado cuando esté en el 40% de NR o por debajo de este valor. Las dos luces de alerta, advierten al piloto si los rotor patines del freno están extendidos y el freno aplicado. La figura 5.15, muestra la ubicación del sistema de freno del rotor.

Figura 5.15 Sistema de Freno de Rotor



Bell 212 Pilot Training Manual

El conjunto del freno del rotor está compuesto de:

- *Freno de Disco:* Un disco de acero acromático acoplado con pernos a la pestaña del plato conductor rasurado al eje tubular de cola.
- *Unidad de Freno:* Un par de cilindros van montados

- **Operación.** El conjunto del freno del rotor, consiste en un cilindro maestro, un tanque y una palanca de mando. El conjunto está montado sobre el techo del compartimiento de cabina, justo a la derecha de la consola de sobre-cabeza.

Actuando la palanca de mando hacia atrás o hacia adelante, se presuriza el fluido hidráulico en el cilindro maestro, y dirige la presión a través de las líneas externas hasta el conjunto doble de freno. Además, existe un seguro que sostiene la

palanca en una posición completamente fija, previniendo que algún movimiento inadvertido actúe la palanca. En un desplazamiento completo de la palanca, la leva de sobrecentro mantiene el freno completamente en posición de frenado.

En el conjunto doble de freno, el fluido presurizado se dirige a los dos (2) pistones del freno. La fuerza del fluido presurizado de los patines del freno sobre ambos lados del disco de freno del rotor, hacen que haya desaceleración en la transmisión del engranaje tubular y los sistemas del rotor.

Como los patines de freno se mueven de su posición completamente retractada, un microswitch⁷ ligado a cada zapata, se cierra e ilumina la luz de alerta “ROTOR BRAKE” en el panel de precaución. Las luces de alerta “ROTOR BRAKE” permanecen iluminadas hasta que los patines del freno estén retraídos completamente.

Después de usarse, la palanca es movida hacia adelante y atrás para detención. Esto activa el cilindro maestro y despresuriza el fluido hidráulico. Los resortes dentro del cilindro del patín de freno retiran las zapatas y los retornan a la posición de retracción completa. Cuando los patines de freno alcanzan dicha posición, los microswitches abren y las luces de alerta se apagan.

- Uso del Freno del Rotor. El freno del rotor, solo se usa cuando las revoluciones rotor principal están por debajo del 40% y los motores están apagados. El freno del rotor nunca debe usarse en vuelo o durante un encendido del motor.

Cuando se use, el freno del rotor debe estar completamente aplicado y sostenerse hasta que el rotor casi se haya detenido, luego ya se suelta completamente. El freno nunca debe ser bombeado porque podría causar daños en el engranaje tubular de la transmisión. La operación del freno del rotor y las luces de alerta “ROTOR BRAKE” se revisan antes de efectuar un encendido del motor.

⁷ Microswitch, microinterruptor.

5.2.15 Acumuladores. Hay un acumulador para cada sistema. Están montados horizontalmente en la parte trasera de la viga transversal. Tienen una capacidad de 1.5 in³ de fluido hidráulico y se cargan con la presión del sistema. El acumulador comienza a cargarse en 135 psi y está completamente cargado al alcanzar 575 psi. El propósito del acumulador es presurizar parcialmente los servos cuando el sistema hidráulico está en OFF. También evita la entrada de aire al sistema cuando se encuentra en OFF y si hay pequeñas pérdidas de fluido hidráulico en los servos.

5.2.16 Líneas y Tuberías. A través del sistema hidráulico se encuentran tuberías rígida y flexible que interconectan la bomba, el depósito, filtro, válvulas cheque, válvula de alivio de presión, válvula solenoide, válvulas cheque, servo-actuadores (cíclico, colectivo, direccional). Los tubos están asegurados a la estructura con abrazaderas, espaciadores, pernos, arandelas y tuercas. Las mangueras se encuentran montadas en las partes móviles.

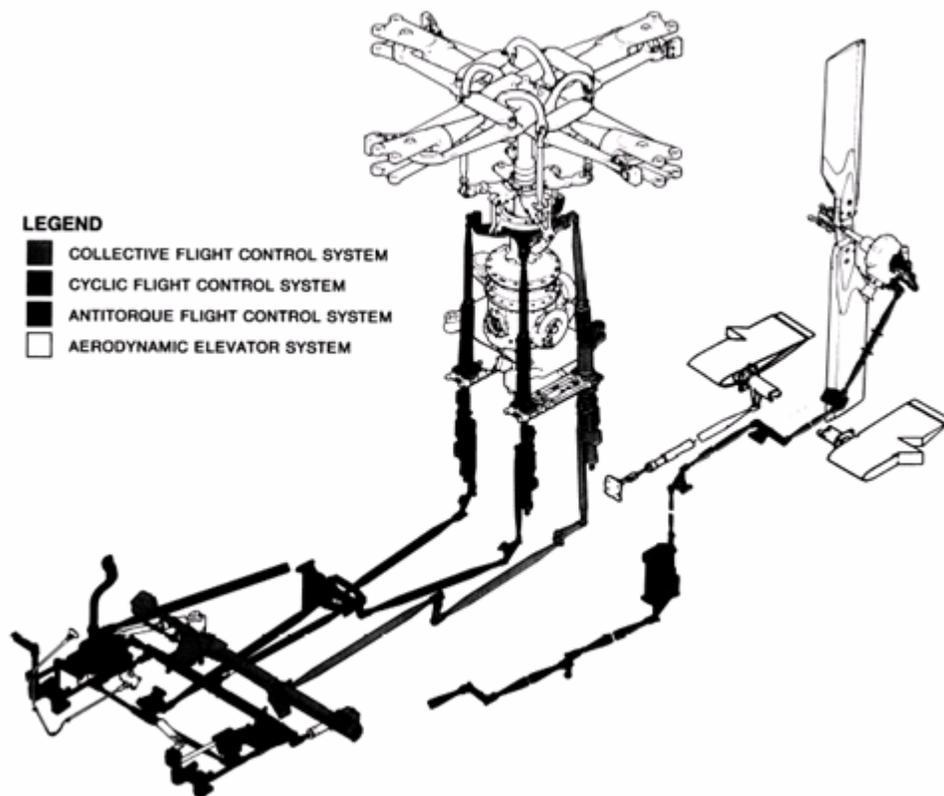
5.2.17 Fluido Hidráulico MIL-H-5606. El fluido hidráulico MIL-H-5606, era el líquido hidráulico más utilizado en aviación naval antes de que el tipo MIL-H-83282 fuera introducido. El líquido MIL-H-5606 está formado de productos de petróleo con materiales aditivos para mejorar la viscosidad (características afectadas por la temperatura), para inhibir la oxidación, y además como agente reductor del desgaste. El inhibidor de la oxidación fue incluido para reducir la cantidad de oxidación que ocurre en líquidos a base de petróleo cuando se sujetan a de alta presión y temperatura, reduciendo al mínimo la corrosión de las piezas metálicas debido a la oxidación y a los ácidos que resultan. La gama de temperaturas del fluido MIL-H-5606 está en entre -65 °F a 275 °F. Es de color rojo

teñido, así que puede ser distinguido de los líquidos incompatibles. El líquido hidráulico MIL-H-5606 es compatible con el líquido hidráulico MIL-H-46170.

5.3 CONTROLES DE VUELO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

En el BELL 212, están incluidos los controles de cíclicos, colectivo y antitorque, para suministrar dirección, movimiento vertical y control de “yaw” o cabeceo del helicóptero. Un elevador sincronizado proporciona el incremento en la estabilidad longitudinal y el rango del centro de gravedad.

Figura 5.16 Sistema de Controles de Vuelo



Bell 412 Pilot Training Manual

Los controles son asistidos hidráulicamente para la eliminación de fuerzas dinámicas en el rotor.

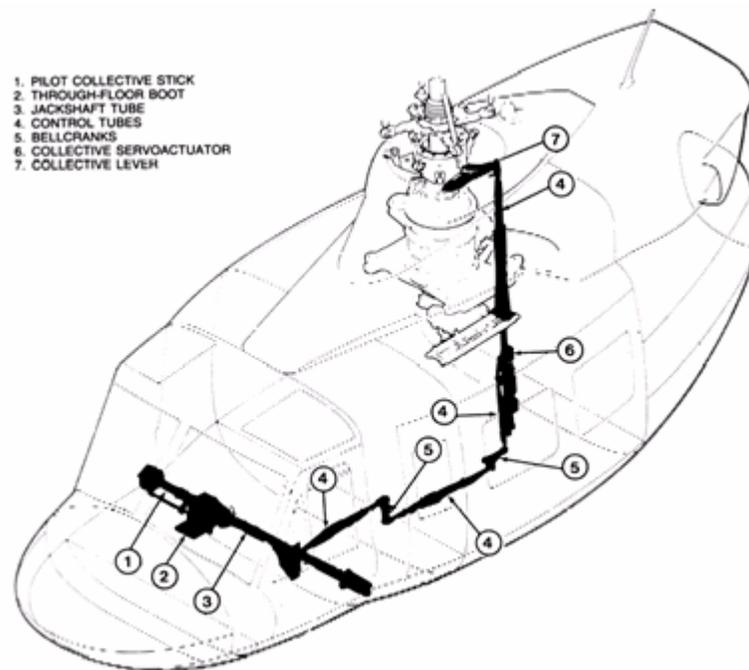
Los controles en cabina, están conectados a vástagos para halar y empujar, manivelas, actuadores SCAS, y servoactuadores hidráulicos, con el fin de que el piloto transmita los movimientos directamente para el sistema del rotor.

El sistema de fuerza para trim⁸ en el cíclico y el controles del direccional en cabina, proporcionan posicionamiento y la sensación artificial en el mando. El sistema de fricción del cíclico y del colectivo en cabina, permiten al piloto ajustar la rigidez deseada. También se provee de bloqueo para el colectivo.

Los controles de vuelo incluyen el colectivo, la palanca del cíclico, y los pedales de antitorque y sus sistemas de fricción, bloqueo, y sistema de fuerzas de trim.

5.3.1 Sistema de Control del Colectivo

Figura 5.17 Sistema de Control de Vuelo Colectivo.



Bell 412 Pilot Training Manual

⁸ Trim, compensación o equilibrio en vuelo.

El sistema del colectivo es simultáneo en ambas palas del rotor principal y los ángulos de paso son iguales en la misma dirección para incrementar o disminuir la cantidad total de sustentación producida en el rotor principal.

La sustentación resultante del rotor, actúa perpendicular al plano del rotor principal, determinando la altitud del helicóptero en vuelo.

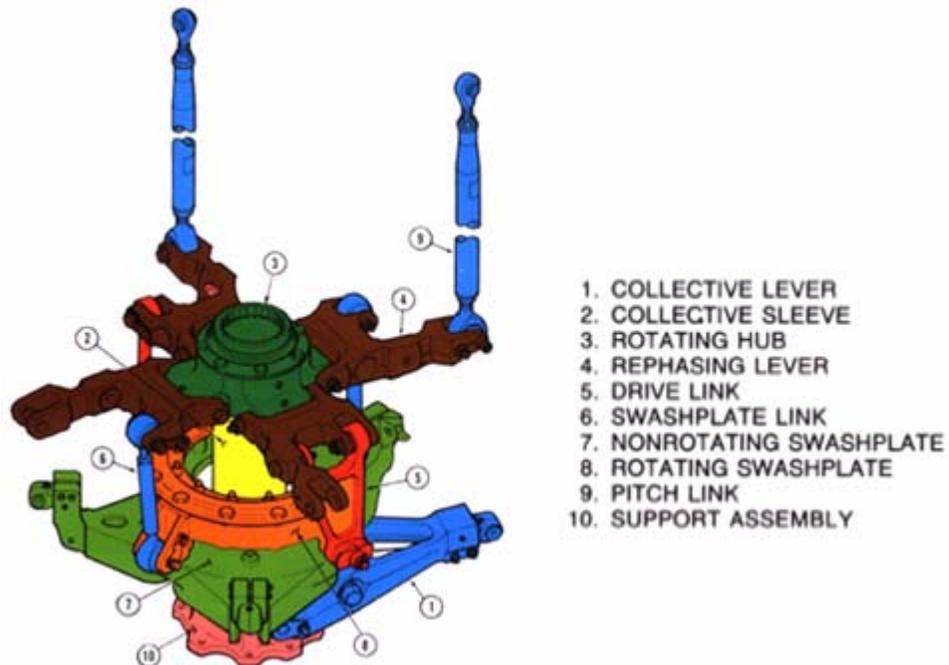
El control del colectivo, está localizado en el lado izquierdo de cada silla del piloto y esta unido del piso de cabina a un eje transversal que activa el servoactuador del colectivo a través de tubos y manivelas. El servoactuador conectado al terminal exterior de la palanca colectiva, va montado en la parte superior de la transmisión principal. El terminal frontal de la palanca del colectivo, está pivotado al soporte del plato cíclico y también es unido al cubo del colectivo. El movimiento ascendente y descendente del cubo del colectivo da como resultado los cambios de paso en las palas del rotor principal.

- **Controles del Colectivo en el Rotor Principal.** Todos los cambios de paso en las palas del rotor principal resultan del movimiento del cubo del colectivo. Si el cubo deslizador colectivo se gira, mueve el cubo del conjunto rotatorio, el conjunto de tijeras, los tubos de control del estabilizador, las uniones del paso, y las hojas sujetadas a las palas del rotor.

- **Deslizador Colectivo.** El deslizador colectivo es un tubo alrededor de la baja porción del mástil del rotor. El movimiento de la palanca del colectivo, desplaza el deslizador hacia arriba y hacia abajo alrededor del mástil del rotor.

- **Cubo Rotatorio.** El borde del deslizador colectivo es sujetado por rodamientos al cubo, el cual está engranado y dirigido por el mástil del rotor principal. El cubo rota con el mástil del rotor y se mueve libremente arriba y abajo sobre los engranajes del mástil cuando hay movimiento en el deslizador colectivo.

Figura 5.18 Sistema de Control de Vuelo Colectivo.



Bell 412 Pilot Training Manual

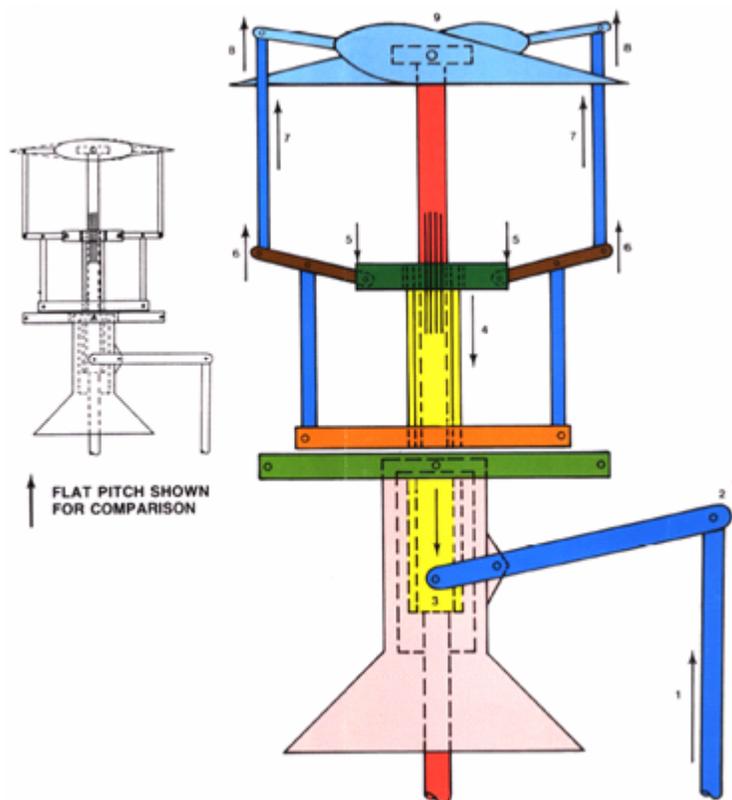
- **Conjunto de Tijeras.** El conjunto rotatorio de tijeras de aluminio, está sujeto y manejado por el cubo rotatorio. Estos transmiten un movimiento vertical al disco del rotor por medio de dos barras estabilizadoras que están montadas a lo largo de los brazos del conjunto de tijeras y mueven el conjunto arriba o abajo simultáneamente en la misma dirección del movimiento del colectivo.

- **Barra Estabilizadora de los Tubos de Control.** Del final del brazo largo de las tijeras, la barra estabilizadora de los tubos de control está montada sobre el brazo exterior del mezclador de la barra estabilizadora. El movimiento de los tubos de control, hace mover el mezclador arriba y abajo simultáneamente en la misma dirección.

- **Conexión del Paso.** Los acoples de paso están instalados entre la parte de adentro de los brazos del mezclador y la parte exterior del brazo de paso de incidencia. El movimiento del mezclador mueve las conexiones de paso arriba y abajo, empujando los brazos de paso de incidencia, giran los sujetadores de palas, y cambian igual, simultánea, y en la misma dirección el paso de las palas del rotor.

- **Movimiento del Control de Cambio de Paso (Colectivo)**

Figura 5.19 Movimiento del colectivo para cambio de paso



Bell 412 Pilot Training Manual

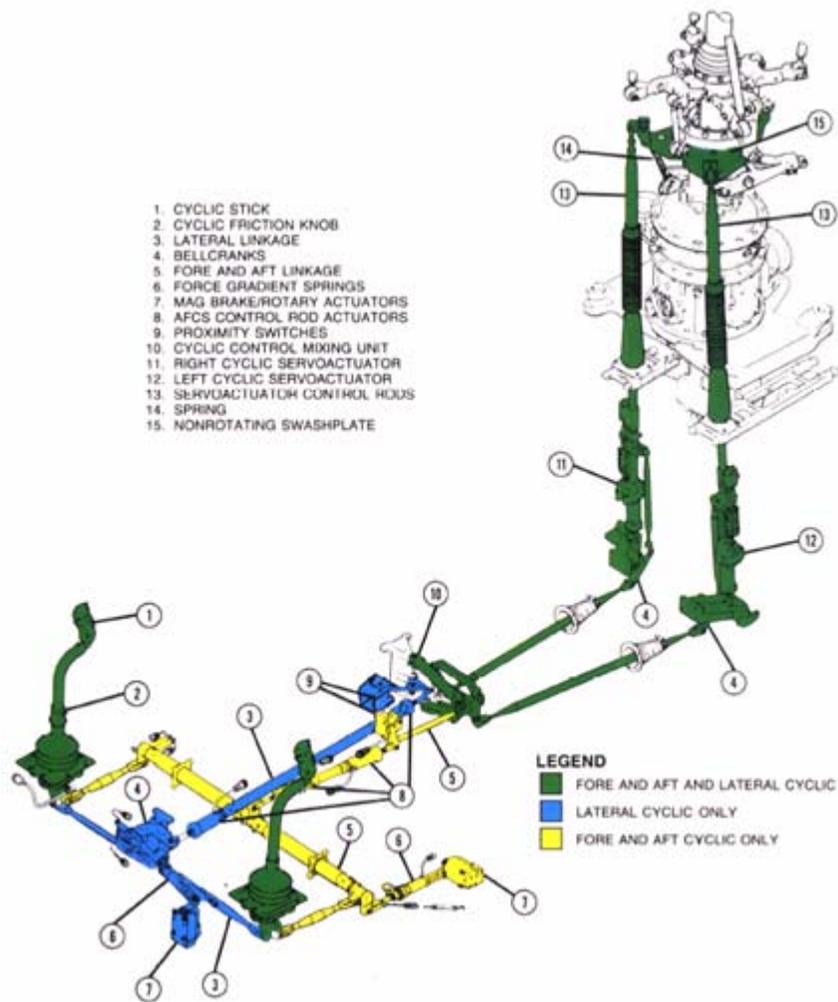
La figura 5.19 muestra cada movimiento para el cambio de paso, descrito anteriormente.

Moviendo el control del colectivo hacia abajo, es exactamente la misma secuencia de movimientos anteriores pero en la dirección opuesta.

5.3.2 SISTEMAS DE CONTROL DEL CÍCLICO

El cíclico cambia el paso y la sustentación de cada pala e inclina el vector de sustentación en el plano superior del rotor hacia la dirección deseada en el vuelo.

Figura 5.20 Sistema de control del Cíclico



Los controles del cíclico, están localizados frente a cada silla del piloto, está suspendido al cardán a través del piso del helicóptero y es conectado a dos tubos (tubos de halar y empujar): uno para el control lateral o de roll⁹ y otro para el control frontal- trasero o pitch. Las manivelas y los tubos que controlan el movimiento lateral y frontal-trasero son mezclados con las unidades de los servoactuadores. Los movimientos de los servoactuadores del cíclico ladean el plato cíclico del rotor principal y por consiguiente hacen que el plano superior del rotor se incline de la misma forma.

- **Unidad Mezcladora.** La unidad mezcladora convierte los movimientos de entrada del control del cíclico en desplazamientos compatibles para los dos servos del cíclico en el plato oscilante del rotor principal. La unidad mezcladora incluye manivelas para el movimiento delantero-trasero, manivelas para el lateral, palancas paralelas entre las manivelas del movimiento frontal-trasero y vástagos de control a los dos servoactuadores.

- **Operación de la Unidad Mezcladora.** Los movimientos delantero-trasero en cabina hacen que se mueva la transmisión hacia adelante o atrás. Los movimientos de la transmisión hacen que los vástagos de control conectados a los servos del cíclico se muevan en la misma dirección ya sea hacia delante o atrás. Los servos del cíclico convierten esta acción en un desplazamiento de igual magnitud (arriba o abajo) del plato cíclico no rotatorio inclinándolo hacia adelante o hacia atrás.

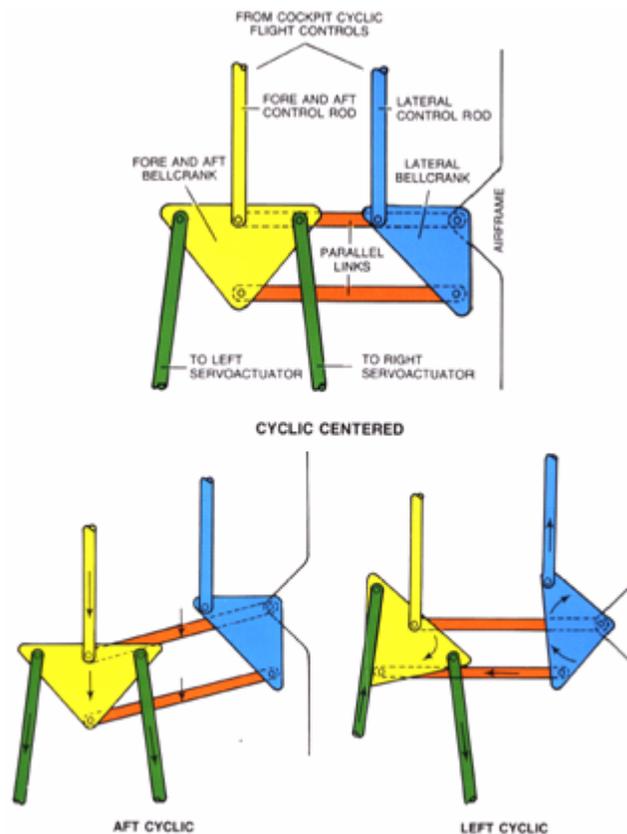
El movimiento lateral hace que la palanca de control rote la transmisión del lateral y mueva la palanca de conexión a la transmisión para el movimiento delantero-trasero. La palanca de conexión inferior gira la transmisión para el movimiento delantero-trasero y mueve los tubos de halar-empujar conectados a los servos en

⁹ Roll, movimiento de ladeo en aeronaves.

igual cantidad pero direcciones opuestas. Los servos convierten esta acción en un movimiento hacia arriba y otro hacia abajo la misma cantidad, inclinando el plato cíclico no giratorio hacia la derecha o izquierda.

Debido a que en cabina normalmente los movimientos no son en una dirección solamente, la unidad mezcladora está diseñada para combinar los movimientos que sean requeridos por el piloto ya sea si adelante y derecha, adelante e izquierda, etc.

Figura 5.21 Unidad mezcladora



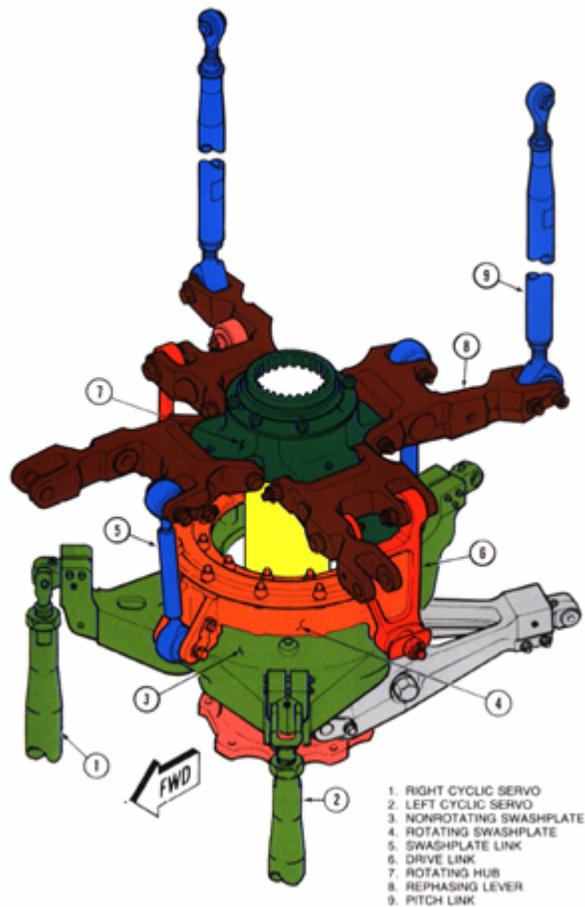
Bell 412 Pilot Training Manual

- **Control del Cíclico del Rotor Principal.** Un segundo plato cíclico montado con rodamientos en el plato no rotatorio, se encuentra libre para girar en un plano

paralelo al no rotatorio. Los movimientos del cíclico en cabina que ladean el plato no rotatorio inclinan de igual manera el plato rotatorio transmitiendo a esta unidad los movimientos de entrada.

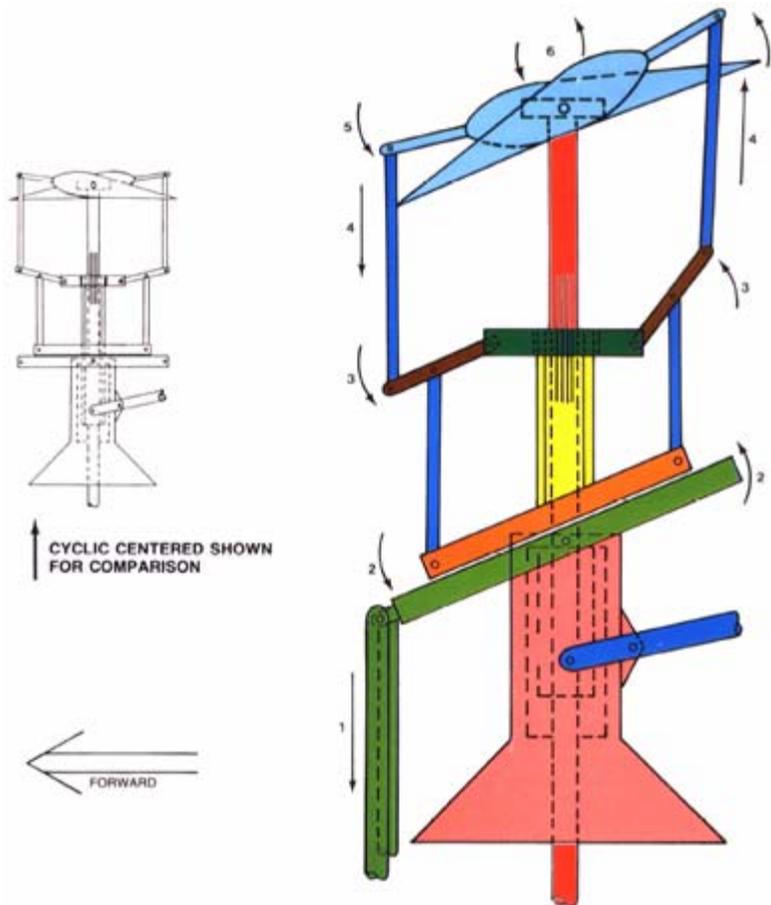
Las uniones motrices de los dos platos cíclicos, transmiten la inclinación del plato no rotatorio al conjunto de tijeras. Las dos palancas de tijeras acopladas al cubo rotatorio, pivotan en las uniones motrices y convierten a través de las barras estabilizadoras de los tubos de control y las uniones de paso, la inclinación del plato cíclico rotatorio en diferentes ángulos de paso cada pala del rotor.

Figura 5.22 Control del Cíclico del Rotor Principal



- **Movimientos de Cambio de Paso en el Control del Cíclico.** La figura 5.23 muestra cada movimiento para el cambio de paso, descrito anteriormente.

Figura 5.23 Movimiento del cíclico para cambio de paso

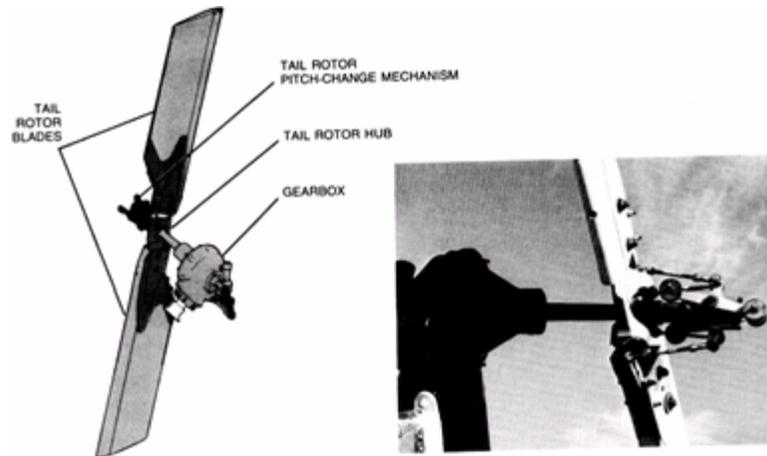


Bell 412 Pilot Training Manual

5.3.3 Sistema de Control de Antitorsión. La rotación hacia la izquierda del rotor principal, crea un momento de giro alrededor del mástil del rotor. Esto hace que el helicóptero tienda a girar la nariz hacia la derecha. Si el colectivo es accionado y el paso de las palas se incrementa de la misma forma lo hace el torque, sucediendo lo contrario en caso de disminuir el paso. Un sistema de tracción (rotor de cola) se

instala en el fuselaje posterior al lado derecho y lo empuja para contrarrestar el torque que tiende a mover la nariz hacia la izquierda.

Figura 5.24 Sistema de Rotor de Cola



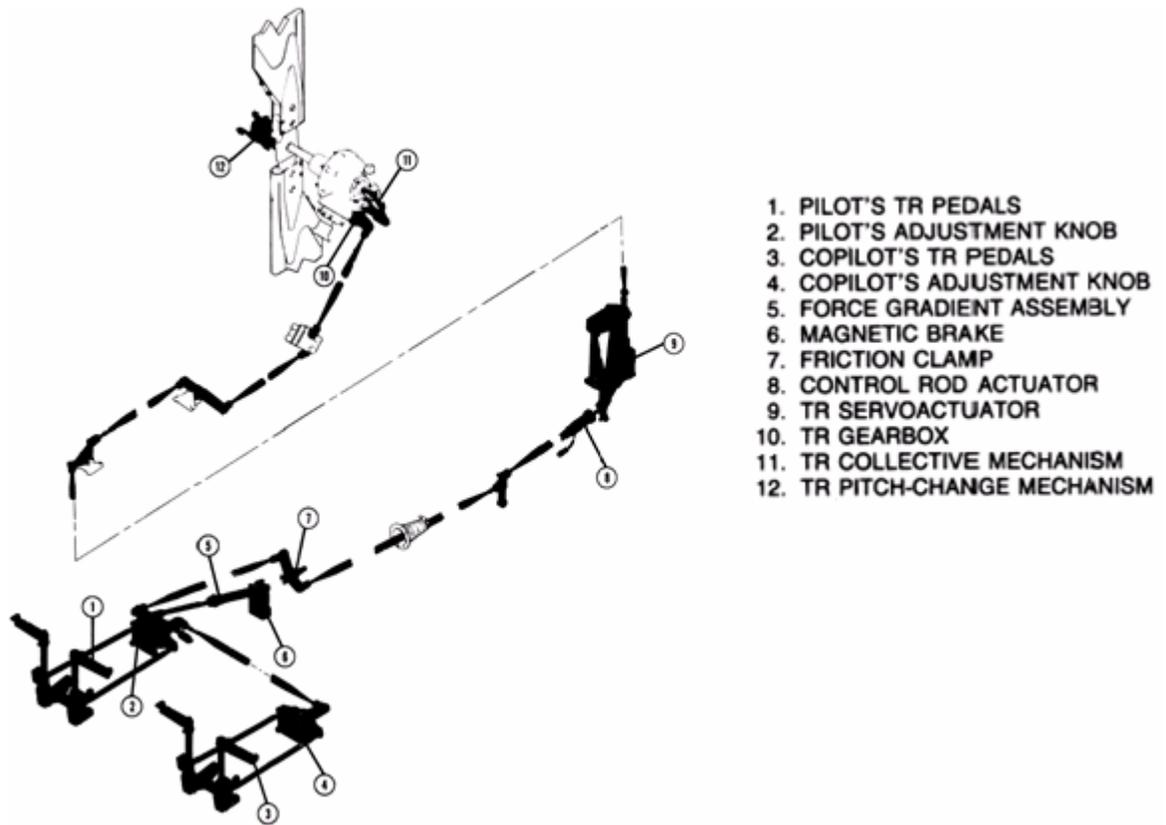
Bell 412 Pilot Training Manual

El sistema de antitorque cambia el ángulo de paso de las palas del rotor de cola e incrementa o disminuye el empuje requerido para compensar el torque del rotor principal. La cantidad del paso es controlada por los pedales en cabina del rotor de cola y proporciona un control del cabeceo en un vuelo estacionario y coordinación durante el vuelo de crucero.

- **Controles de Antitorque.** Los pedales de antitorque están articulados a nivel del piso y en frente a cada silla de piloto y conectado al conjunto de ajuste de pedales. El conjunto de ajuste de pedales del piloto y copiloto incluye un pulsador de ajuste para aumentar o disminuir la distancia entre pedal y silla. Si el conjunto de ajuste de pedal se conecta a vástagos de control y transmisiones, se acopla a un servoactuador simple para el antitorque localizado en el compartimiento del calentador. Adicionalmente, tubos de control y transmisiones conducen al

servoactuator el movimiento en el mecanismo de cambio de paso del rotor de cola.

Figura 5.25 Controles del Sistema de Antitorsi3n



Bell 412 Pilot Training Manual

6. DISEÑO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO DEL BANCO

Este diseño principalmente busca que por medio de un banco didáctico, se pueda simular el funcionamiento de un sistema servo-hidráulico como lo tiene el helicóptero Bell 212/412 manteniendo un alto parentesco. El sistema del banco conservará el funcionamiento exacto del sistema original del helicóptero, con la diferencia en que, por razones de costos y adquisición, los servoactuadores o sistema servohidráulico del helicóptero será reemplazado por un sistema de control proporcional. Con base en el estudio y análisis de sistemas de control proporcional del capítulo 4, un sistema que utilice válvulas proporcionales tiene alta confiabilidad en cuanto a posicionamiento y velocidad de actuadores, que es un rasgo fundamental en el sistema servohidráulico del Bell 212/412.

Para el diseño del circuito hidráulico del sistema, se considerarán dos aspectos:

- a. Argumentos preliminares
- b. Diseño del circuito hidráulico

6.1 ARGUMENTOS PRELIMINARES

Los servoactuadores del helicóptero Bell 212/412, tienen movimientos enteramente lineales para el sistema cíclico, colectivo y direccional. En el banco, los actuadores presentan movimiento lineal tal y con forme lo tiene el sistema del helicóptero.

Los movimientos de los actuadores deben tener relación en cuanto al desplazamiento y velocidad en su extensión y retracción. El helicóptero requiere desplazamientos rápidos por versatilidad en el momento de control del rotor principal y de cola durante cualquier vuelo, así el banco del sistema hidráulico tiene como requisito extensiones y retracciones rápidas.

Se requieren dos sistemas independientes por semejanza con el diseño patrón y adicionalmente un caudal constante y control de presión. Las válvulas proporcionales controlan el movimiento de los actuadores mediante control

direccional y de caudal, así también el sistema hidráulico del banco está diseñado con centro cerrado con el fin de mantener la presión estable.

El control de los actuadores tanto en velocidad como en posición es riguroso, por lo tanto se utilizarán válvulas controladas por solenoides proporcionales.

Para los movimientos y funciones requeridas y su respectivo control, en el capítulo 7 se encuentran calculados, así como caudales, presiones, fuerzas, velocidades y elección de componentes hidráulicos y electrónicos.

6.1.1 Similitudes Respecto al Sistema Hidráulico del Helicóptero

Con base a la descripción y el estudio del sistema hidráulico del helicóptero, el banco debe poseer las mismas características de funcionamiento del sistema original. El banco cuenta con las siguientes características de similitud:

- Dos (2) sistemas hidráulicos completamente independientes.
- Presión nominal del sistema de 1000 psi.
- Simulación de sistema cíclico
- Simulación del sistema colectivo
- Simulación del sistema de antitorsión o direccional
- Simulación del sistema de freno de rotor principal
- Mando y encendido totalmente electrónico.
- Movimiento asistido de los actuadores por efecto de los dos sistemas.

6.1.2 Unidades de Mando

El sistema consta de dos grupos de mando que son:

- Mando eléctrico
- Mando manual

El mando eléctrico se realiza desde un panel de control del banco e incluye el accionamiento de la mayoría de componentes del sistema (motores eléctricos, válvulas solenoides direccionales y válvulas proporcionales).

El mando manual en el sistema hidráulico únicamente aplica a la simulación del sistema de frenado de rotor.

6.2 DISEÑO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO

6.2.1 Diseño de Diagramas y Esquemas del Circuito. Para el diseño del circuito, inicialmente se construyó un circuito que presentara las funciones del sistema hidráulico del helicóptero Bell 212/412, en base a la descripción y operación de cada uno de los elementos que conforman el sistema hidráulico. Utilizando como herramienta de ayuda, el software de simulación hidráulica “Automation Studio”¹⁰, se facilitó la elección de componentes y mediante la función de simulación que el programa genera, se corroboró el funcionamiento correcto del circuito hidráulico. El circuito presenta componentes para simular las características de funcionamiento en condiciones normales, y además se le agregaron válvulas y otros componentes adicionales que permitirán generar fallas al sistema, con el fin de conocer a fondo problemas que pueden presentarse en vuelo y en sistemas hidráulicos convencionales.

Las válvulas (solenoides y proporcionales) se encuentran en su posición normal; las válvulas no están activadas. Los cilindros y los elementos de potencia adoptan la posición resultante cuando todas las válvulas están en su posición normal y el sistema se halla bajo presión. La válvula accionada manualmente está en su posición inicial (sin presión).

Para el diseño del circuito hidráulico, se plantearon como base los elementos que conforman el sistema hidráulico del helicóptero, y se tomaron igualmente con el fin de conservar la mayor parte de las funciones principales.

El sistema es de centro cerrado, con el fin de que la presión se mantenga al máximo y así el ajustar su respectivo control. Las bombas en el banco funcionan a

¹⁰ <http://www.automationstudio.com/EDUC/index.htm>

diferentes regimenes de caudal de acuerdo a la necesidad de cada sistema. El conjunto de válvulas y filtros del helicóptero que lo conforman las válvulas solenoides para el respectivo accionamiento de los sistemas, los filtros de succión y de presión, la válvula shutoff para el retorno de fluido, dispositivos de medición de presión y válvula de alivio del sistema se reemplazaron por componentes individuales, es decir que no están contenidos en un solo conjunto.

El esquema de la figura 6.0 muestra simbólicamente el circuito hidráulico del banco.

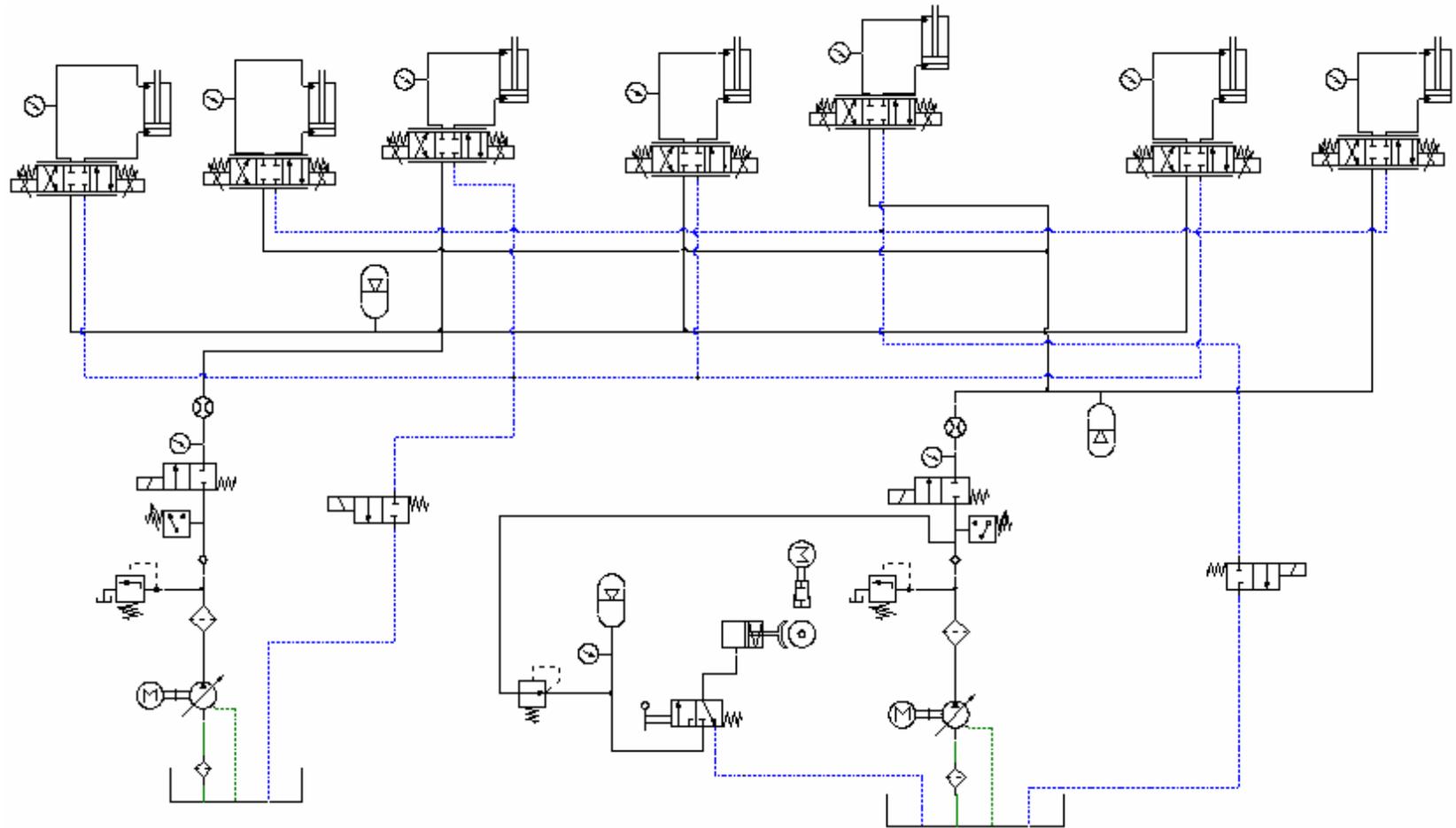
6.2.2 Colores en el Circuito Hidráulico. El circuito hidráulico diseñado, utiliza un código de colores para diferenciar las líneas hidráulicas como se indica en la tabla 6.0:

Tabla 6.0 Código de colores

FUNCIÓN	COLOR
Presión intensificada	Negro
Flujo de retorno	Azul
Succión	Verde
Drenaje	Verde

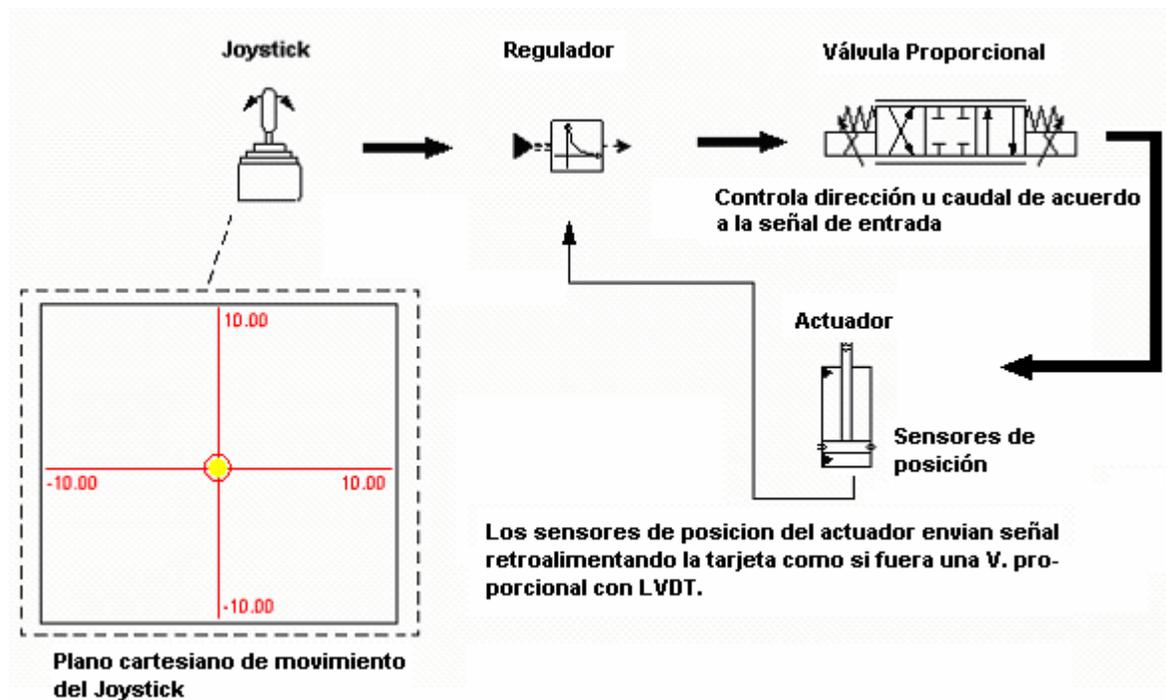
6.2.3 Descripción y Componentes del Sistema Hidráulico. Con base a la descripción del sistema hidráulico del helicóptero expuesto en el capítulo II, el banco cuenta con dos (2) sistemas hidráulicos completamente independientes. El sistema N° 1 es asistido por el sistema N° 2 en caso de falla o viceversa. Además de adoptar las características de funcionamiento, el banco cuenta con otros dispositivos que permiten la simulación de fallas comunes en el sistema hidráulico.

Figura 6.0 Circuito Hidráulico del Banco (excluyendo componentes de simulación de fallas)



Puesto que el sistema utiliza válvulas proporcionales direccionales con el fin de tener un movimiento preciso y rápido, la palanca de del cíclico derecho e izquierdo está en función de la posición del pistón en la carrera del cilindro. Un sistema cartesiano correspondiente a la dirección del “Joystick”¹¹ envía la señal de entrada hacia el regulador o tarjeta amplificadora, donde es rectificadora y amplificada para dirigirse a los solenoides de las válvulas proporcionales, los sensores de posición (a lo largo de la carrera del cilindro), retroalimentan la tarjeta para con ello rectificar el caudal de entrada al actuador que permite pasar la válvula proporcional.

Figura 6.1 Diagrama de control proporcional



El sistema completo consta de los siguientes componentes:

¹¹ Joystick (palanca de mando en español).

Tabla 6.1 Componentes del Sistema Hidráulico

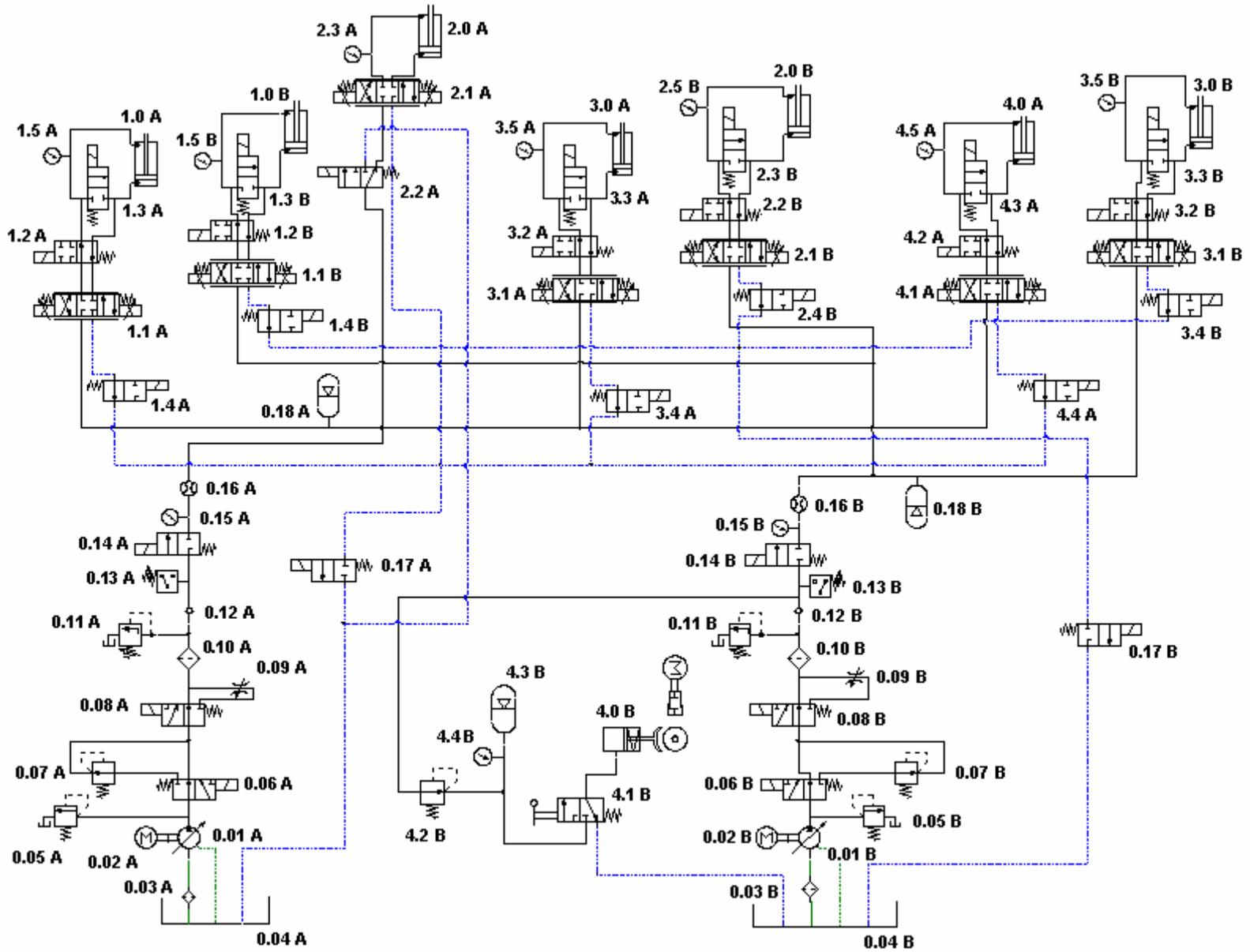
SISTEMA HIDRÁULICO N° 1	
Identificación	Componente
0.01 A	Bomba unidireccional de cilindrada variable y presión compensada
0.02 A	Motor eléctrico
0.03 A	Filtro de succión
0.04 A	Depósito atmosférico ajustable
0.05 A	Válvula de alivio de presión
0.06 A	Válvula solenoide 3/2 N/A con muelle de recuperación
0.07 A	Válvula reductora de presión
0.08 A	Válvula solenoide 3/2 N/A con muelle de recuperación
0.09 A	Regulador de caudal bidireccional
0.10 A	Filtro de presión en línea
0.11 A	Válvula de alivio de presión
0.12 A	Válvula antirretorno)
0.13 A	Sensor de presión
0.14 A	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
0.15 A	Manómetro
0.16 A	Medidor de caudal
0.17 A	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
0.18 A	Acumulador hidroneumático con separador
1.0 A	Cilindro de doble acción con sensor de posición
1.1 A	Válvula direccional proporcional 4/3, centro cerrado.
1.2 A	Válvula solenoide 4/2 N/A con muelle de recuperación
1.3 A	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
1.4 A	Válvula solenoide 2/2 N/A con muelle de recuperación
1.5 A	Manómetro
2.0 A	Cilindro de doble acción con sensor de posición
2.1 A	Válvula direccional proporcional 4/3, centro cerrado.
2.2 A	Válvula solenoide 3/2 N/A con muelle de recuperación
2.3 A	Manómetro
3.0 A	Cilindro de doble acción con sensor de posición
3.1 A	Válvula direccional proporcional 4/3, centro cerrado.
3.2 A	Válvula solenoide 4/2 N/A con muelle de recuperación
3.3 A	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
3.4 A	Válvula solenoide 2/2 N/A con muelle de recuperación
3.5 A	Manómetro
4.0 A	Cilindro de doble acción con sensor de posición
4.1 A	Válvula direccional proporcional 4/3, centro cerrado.
4.2 A	Válvula solenoide 4/2 N/A con muelle de recuperación

4.3 A	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
4.4 A	Válvula solenoide 2/2 N/A con muelle de recuperación
4.5 A	Manómetro
SISTEMA HIDRÁULICO Nº 2	
0.01 B	Bomba unidireccional de cilindrada variable y presión compensada
0.02 B	Motor eléctrico
0.03 B	Filtro de succión
0.04 B	Depósito atmosférico ajustable
0.05 B	Válvula de alivio de presión
0.06 B	Válvula solenoide 3/2 N/A con muelle de recuperación
0.07 B	Válvula reductora de presión
0.08 B	Válvula solenoide 3/2 N/A con muelle de recuperación
0.09 B	Regulador de caudal bidireccional
0.10 B	Filtro de presión en línea
0.11 B	Válvula de alivio de presión
0.12 B	Válvula antirretorno)
0.13 B	Sensor de presión
0.14 B	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
0.15 B	Manómetro
0.16 B	Medidor de caudal
0.17 B	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
0.18 B	Acumulador hidroneumático con separador
1.0 B	Cilindro de doble acción con sensor de posición
1.1 B	Válvula direccional proporcional 4/3, centro cerrado.
1.2 B	Válvula solenoide 4/2 N/A con muelle de recuperación
1.3 B	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
1.4 B	Válvula solenoide 2/2 N/A con muelle de recuperación
1.5 B	Manómetro
2.0 B	Cilindro de doble acción con sensor de posición
2.1 B	Válvula direccional proporcional 4/3, centro cerrado.
2.2 B	Válvula solenoide 4/2 N/A con muelle de recuperación
2.3 B	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
2.4 B	Válvula solenoide 2/2 N/A con muelle de recuperación
2.5 B	Manómetro
3.0 B	Cilindro de doble acción con sensor de posición
3.1 B	Válvula direccional proporcional 4/3, centro cerrado.
3.2 B	Válvula solenoide 4/2 N/A con muelle de recuperación
3.3 B	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
3.4 B	Válvula solenoide 2/2 N/A con muelle de recuperación
3.5 B	Manómetro

4.0 B	Freno de disco
4.1 B	Válvula de palanca 3/2 N/C con muelle de recuperación
4.2 B	Válvula reductora de presión
4.3 B	Acumulador hidroneumático con separador
4.4 B	Manómetro

Como se aprecia en el circuito hidráulico del banco, el control de las válvulas y elementos es netamente eléctrico. El sistema para su respectivo control tiene un panel de control o un tablero de mando en el que se operan todos los motores eléctricos y válvulas solenoides a excepción de la válvula manual que acciona el sistema de simulación de freno de rotor. En el capítulo 7, se encuentra el diseño y la selección de componentes del sistema eléctrico.

Figura 6.2 Circuito Hidráulico del Banco



6.2.4 Descripción y Operación del Sistema N° 1. El sistema N° 1 está encargado de proporcionar potencia hidráulica a los actuadores que dan movimiento al sistema cíclico derecho, izquierdo, colectivo y direccional o sistema de antitorsión. El sistema hidráulico N° 1 esta conformado por los siguientes elementos:

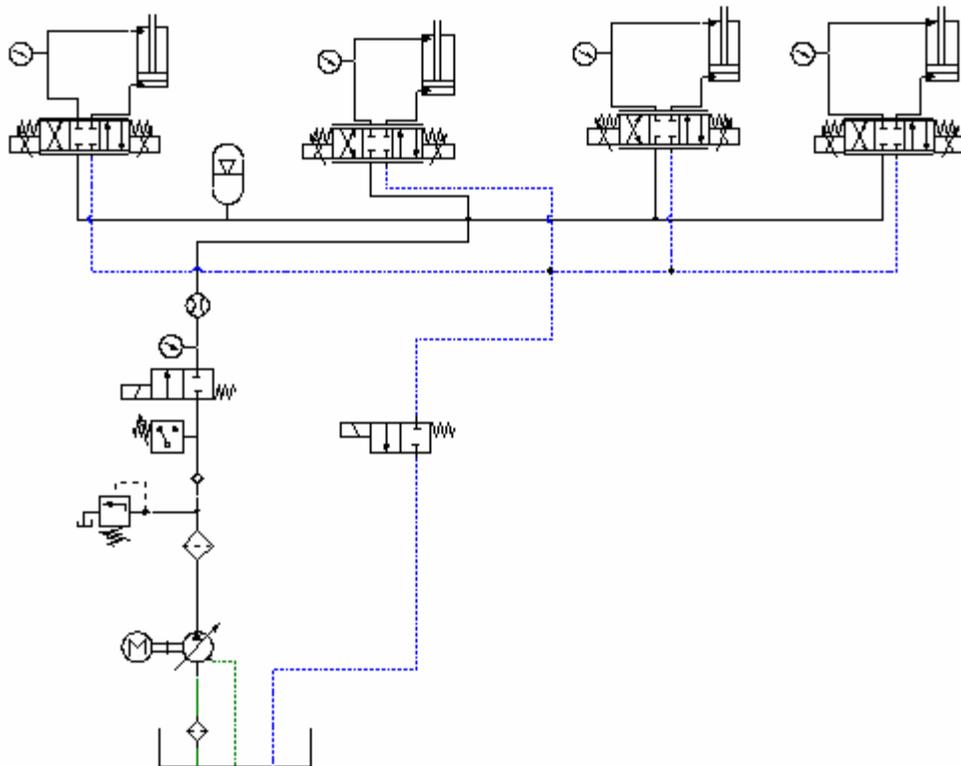
Tabla 6.2 Componentes del sistema hidráulico N° 1

Identificación	Componente
0.01 A	Bomba unidireccional de cilindrada variable y presión compensada
0.02 A	Motor eléctrico
0.03 A	Filtro de succión
0.04 A	Depósito atmosférico ajustable
0.05 A	Válvula de alivio de presión
0.06 A	Válvula solenoide 3/2 N/A con muelle de recuperación
0.07 A	Válvula reductora de presión
0.08 A	Válvula solenoide 3/2 N/A con muelle de recuperación
0.09 A	Regulador de caudal bidireccional
0.10 A	Filtro de presión en línea
0.11 A	Válvula de alivio de presión
0.12 A	Válvula antirretorno)
0.13 A	Sensor de presión
0.14 A	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
0.15 A	Manómetro
0.16 A	Medidor de caudal
0.17 A	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
0.18 A	Acumulador hidroneumático con separador
1.0 A	Cilindro de doble acción con sensor de posición
1.1 A	Válvula direccional proporcional 4/3, centro cerrado.
1.2 A	Válvula solenoide 4/2 N/A con muelle de recuperación
1.3 A	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
1.4 A	Válvula solenoide 2/2 N/A con muelle de recuperación
1.5 A	Manómetro
2.0 A	Cilindro de doble acción con sensor de posición
2.1 A	Válvula direccional proporcional 4/3, centro cerrado.
2.2 A	Válvula solenoide 3/2 N/A con muelle de recuperación
2.3 A	Manómetro
3.0 A	Cilindro de doble acción con sensor de posición

3.1 A	Válvula direccional proporcional 4/3, centro cerrado.
3.2 A	Válvula solenoide 4/2 N/A con muelle de recuperación
3.3 A	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
3.4 A	Válvula solenoide 2/2 N/A con muelle de recuperación
3.5 A	Manómetro
4.0 A	Cilindro de doble acción con sensor de posición
4.1 A	Válvula direccional proporcional 4/3, centro cerrado.
4.2 A	Válvula solenoide 4/2 N/A con muelle de recuperación
4.3 A	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
4.4 A	Válvula solenoide 2/2 N/A con muelle de recuperación
4.5 A	Manómetro

La figura 6.3 muestra el sistema N° 1 aislado, con el fin de apreciar cada componente y su función.

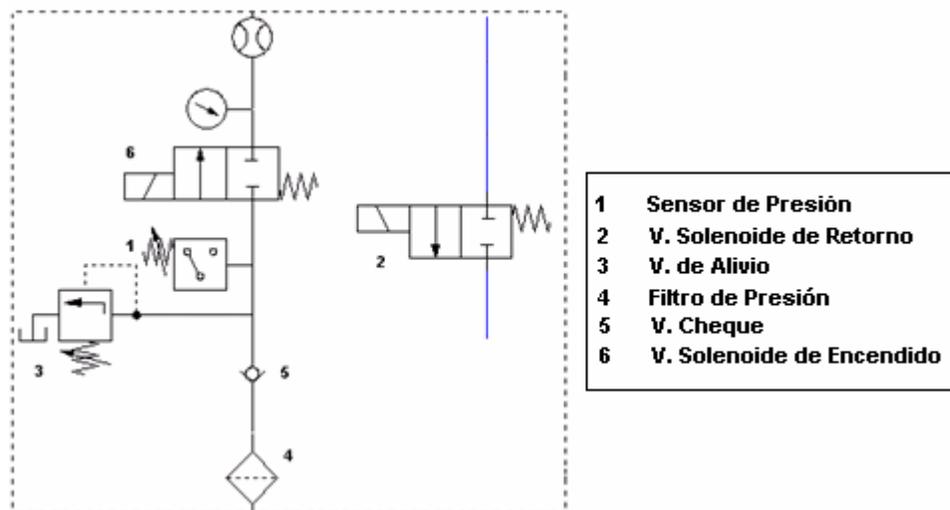
Figura 6.3 Sistema N° 1 aislado



El depósito cuenta con visor de nivel, y cuatro (4) puertos destinados para la succión de la bomba, dos puertos de retorno del sistema, puerto de llenado del tanque y puerto de drenaje del tanque. En el interior del tanque se encuentra el filtro de succión y su función es evitar que las partículas de suciedad que generalmente están en el fondo del depósito y elementos de desgaste producidos en las líneas, válvulas o actuadores que retornan al depósito, sean succionados y puedan causar daños irreversibles en la bomba y el sistema. La bomba es tipo pistones axiales y presión compensada y gira a 1800 RPM, además de escogerse por la semejanza con el sistema patrón, manejan altos caudales para cumplir con la demanda de caudal necesario en el movimiento de los actuadores y una estabilidad de presión en el sistema.

En el siguiente tramo es el reemplazo del conjunto integrado de válvulas y filtros. (Ver figura 6.4)

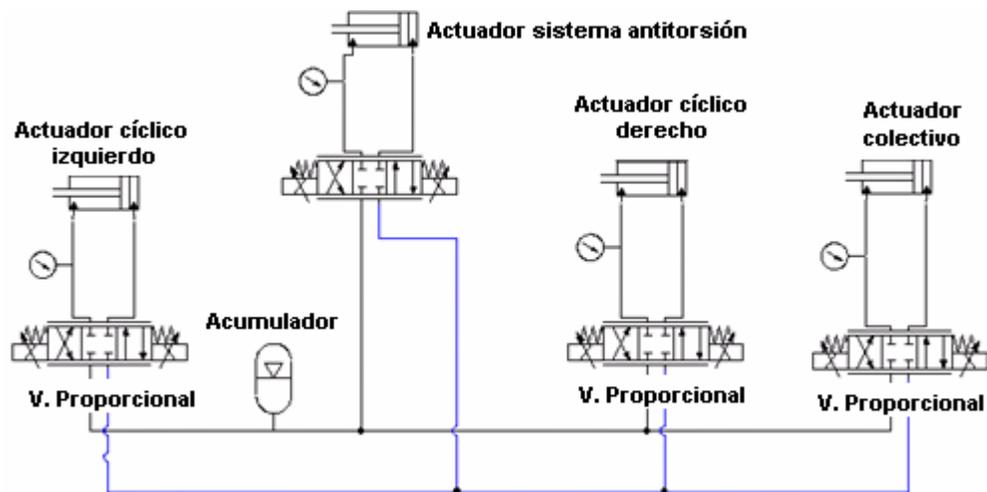
Figura 6.4 Conjunto de válvulas y filtro



Primero se encuentra el filtro de presión; dado que es también característica típica del sistema hidráulico del helicóptero, un sistema electro-hidráulico requiere un alto nivel de limpieza en el fluido y servirá para mantener las partículas que

ingresen de la bomba. Más adelante, se encuentra instalada una válvula solenoide que reemplaza el “Circuit Breaker” del sistema hidráulico del Bell 212/412, donde actúa como un encendido del sistema y en efecto, es la que permite el paso de fluido hacia los actuadores. Como esta válvula permanece cerrada normalmente a menos que se active el sistema desde el panel de control, el fluido puede tender a regresar por la sobrepresión, para ello se dispone de una válvula cheque y a de la válvula de alivio del sistema, asegurando que la presión entregada por la bomba no sobrepase el límite de presión (1000 psi) predispuestos inicialmente; en este caso venteará el sistema hasta que se permita flujo. El sensor instalado permite que la válvula de retorno se abra al sensar una presión de 750 psi, al igual que en el helicóptero para fines de mantener el sistema presurizado.

Figura 6.5 Segundo tramo del sistema N° 1



El tramo a partir de la válvula solenoide se divide en tres líneas de presión que se dirigen hacia cuatro (4) actuadores de doble acción (sistema cíclico derecho, izquierdo, colectivo y direccional). Para estas líneas de presión se encuentra un acumulador hidroneumático, donde suministrará amortiguación de pulsaciones y en caso de pérdida de algún sistema (pérdida del sistema que no sea en

condiciones de simulación) habrá la presión suficiente para vencer la inercia de la carga en los actuadores. Las válvulas proporcionales instaladas antes de cada cilindro, controlarán el caudal que ingresa a los actuadores para que el movimiento sea preciso y sea proporcional al movimiento de entrada en el panel de control. El fluido utilizado en el sistema vuelve al depósito por medio de la línea de retorno y es reutilizado. En la línea de retorno se encuentra un termómetro, con el fin de conocer la temperatura del aceite en el sistema.

6.2.5 Descripción y Operación del Sistema N° 2. El sistema hidráulico N° 2, se conforma de los siguientes componentes:

Tabla 6.3 Componentes del sistema hidráulico N° 2

Identificación	Componente
0.01 B	Bomba unidireccional de cilindrada variable y presión compensada
0.02 B	Motor eléctrico
0.03 B	Filtro de succión
0.04 B	Depósito atmosférico ajustable
0.05 B	Válvula de alivio de presión
0.06 B	Válvula solenoide 3/2 N/A con muelle de recuperación
0.07 B	Válvula reductora de presión
0.08 B	Válvula solenoide 3/2 N/A con muelle de recuperación
0.09 B	Regulador de caudal bidireccional
0.10 B	Filtro de presión en línea
0.11 B	Válvula de alivio de presión
0.12 B	Válvula antirretorno)
0.13 B	Sensor de presión
0.14 B	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
0.15 B	Manómetro
0.16 B	Medidor de caudal
0.17 B	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
0.18 B	Acumulador hidroneumático con separador
1.0 B	Cilindro de doble acción con sensor de posición
1.1 B	Válvula direccional proporcional 4/3, centro cerrado.
1.2 B	Válvula solenoide 4/2 N/A con muelle de recuperación
1.3 B	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación

1.4 B	Válvula solenoide 2/2 N/A con muelle de recuperación
1.5 B	Manómetro
2.0 B	Cilindro de doble acción con sensor de posición
2.1 B	Válvula direccional proporcional 4/3, centro cerrado.
2.2 B	Válvula solenoide 4/2 N/A con muelle de recuperación
2.3 B	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
2.4 B	Válvula solenoide 2/2 N/A con muelle de recuperación
2.5 B	Manómetro
3.0 B	Cilindro de doble acción con sensor de posición
3.1 B	Válvula direccional proporcional 4/3, centro cerrado.
3.2 B	Válvula solenoide 4/2 N/A con muelle de recuperación
3.3 B	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
3.4 B	Válvula solenoide 2/2 N/A con muelle de recuperación
3.5 B	Manómetro
4.0 B	Freno de disco
4.1 B	Válvula de palanca 3/2 N/C con muelle de recuperación
4.2 B	Válvula reductora de presión
4.3 B	Acumulador hidroneumático con separador
4.4 B	Manómetro

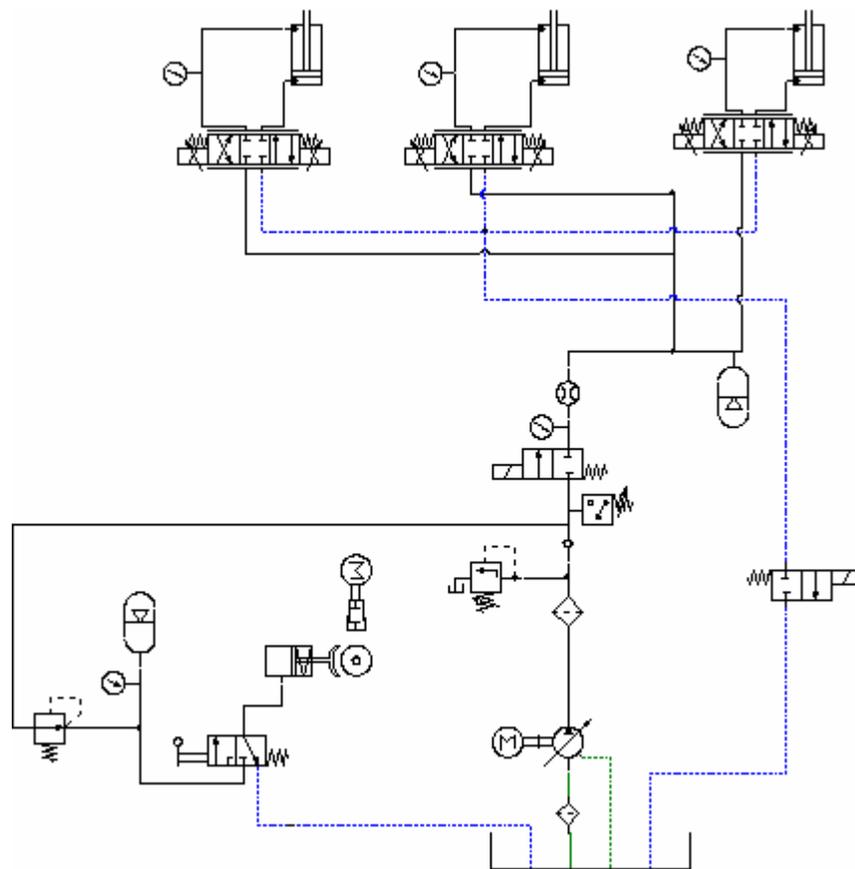
En el banco, este sistema está encargado en suministrar potencia al medio de simulación del freno de rotor.

El sistema N° 2 tiene como función proporcionar potencia hidráulica a los actuadores para asistencia del sistema hidráulico N° 1 en el cíclico (izquierdo y derecho) y el colectivo.

Posee al igual que el sistema N° 1 una bomba de pistones axiales con compensación de presión que gira 1800 RPM, un tanque con visor de nivel y cinco (5) puertos, para la succión, drenaje de la bomba, retorno del sistema, llenado del tanque y drenaje del tanque. El tramo hasta la división de las líneas de presión (conjunto de válvulas y filtros) es idéntico al sistema N° 1. El sistema consta de dos (2) acumuladores hidroneumáticos: uno instalado en las líneas de presión con el fin de amortiguar pulsaciones del sistema y suministrar presión para el vencimiento de la inercia de los actuadores en caso de falla; y otro que almacenará una presión de 150 psi aproximadamente para accionar el freno a la

carga simulada. El tramo después de la válvula solenoide de encendido, se divide en cuatro líneas presurizadas donde tres de ellas tienen como finalidad dar potencia a los actuadores de vástago doble del sistema cíclico derecho e izquierdo y colectivo; y una línea alimenta el sistema de simulación del freno. La figura 6.7 muestra el sistema simulación del freno de rotor.

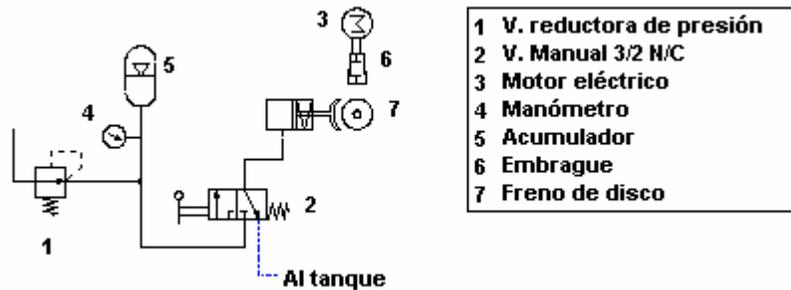
Figura 6.6 Sistema N° 2 aislado



La línea de presión del sistema contiene una presión de 1000 psi, y debido a que los frenos hidráulicos manejan presiones máximo de 200 psi, el fluido entra en una válvula reductora de presión ajustada a 150 psi. El acumulador almacena presión y fluido que será enviado a los pistones del freno de disco, en el momento que la

válvula direccional manual sea accionada. En caso de que la presión sobrepase este límite, se podrían ocasionar daños en el mecanismo del freno de disco.

Figura 6.7 Sistema de freno



6.2.6 Sistema de Simulación de Fallos. El sistema de simulación de fallos, fue diseñado con el fin de mostrar los problemas comúnmente presentados en el sistema hidráulico del helicóptero de acuerdo a situaciones de falla en un vuelo. El sistema de fallos incluye los siguientes componentes que están instalados a lo largo de toda la línea en ambos sistemas hidráulicos:

Tabla 6.4 Componentes para la simulación de fallos en el sistema

Cantidad	Descripción
6	Válvula solenoide 2/2 N/A con muelle de recuperación
6	Válvula solenoide 2/2 N/C con muelle de recuperación
6	Válvula solenoide 4/2 N/A con muelle de recuperación
5	Válvula solenoide 3/2 N/A con muelle de recuperación
2	Válvula reductora de presión
2	Válvula reguladora de caudal
2	Válvula de alivio de presión

El sistema hidráulico del banco puede generar cinco (5) fallos distintos que son:

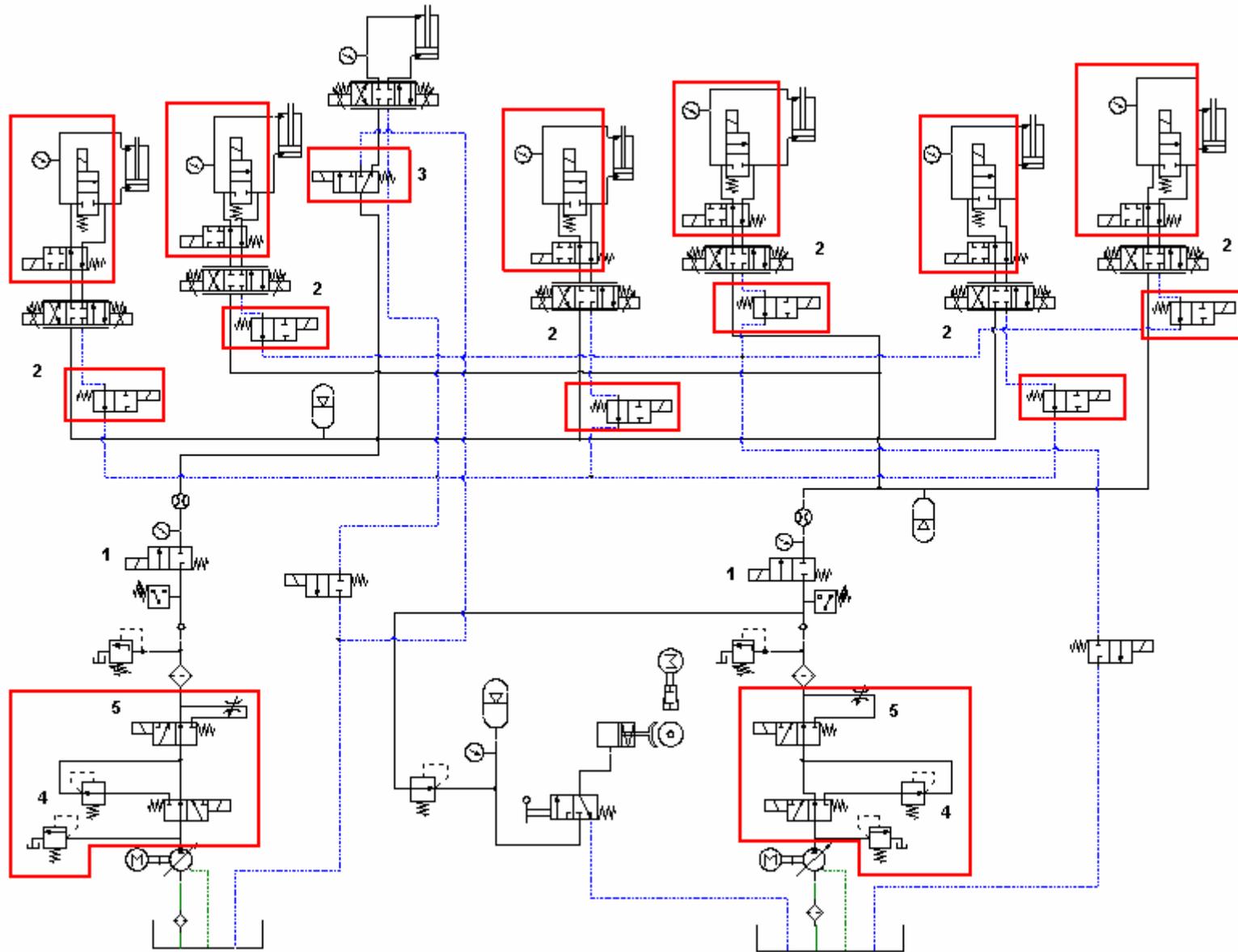
- Pérdida de alguno de los dos sistemas principales.
- Obstrucción en todos los actuadores de doble vástago:
 - Obstrucción en el retorno del cíclico derecho (Sistema N° 1)

- Obstrucción en el retorno del cíclico derecho (Sistema N° 2)
- Obstrucción en el retorno del cíclico izquierdo (Sistema N° 1)
- Obstrucción en el retorno del cíclico izquierdo (Sistema N° 2)
- Obstrucción en el retorno del colectivo (Sistema N° 1)
- Obstrucción en el retorno del colectivo (Sistema N° 2)
- Pérdida del sistema de antitorsión.
- Caída de presión en ambos sistemas.
- Caída en el caudal de ambos sistemas.

El sistema de fallos, se opera mediante un pequeño panel que no está disponible para la operación normal del sistema hidráulico. Éste panel se opera de acuerdo a las especificaciones encontradas en el “Manual de Mantenimiento y Operaciones” y únicamente por el docente o director de la práctica. El panel de fallo funciona con una ramificación del sistema eléctrico donde se suministran el voltaje adecuado para la operación de los solenoides, interruptores, sensores y demás componentes eléctricos (ver capítulo 7 diseño del sistema eléctrico).

La figura 6.8 resalta en los recuadros rojos, los componentes que generan fallos en el sistema hidráulico del banco.

Figura 6.8 Componentes para generar fallos en el sistema hidráulico



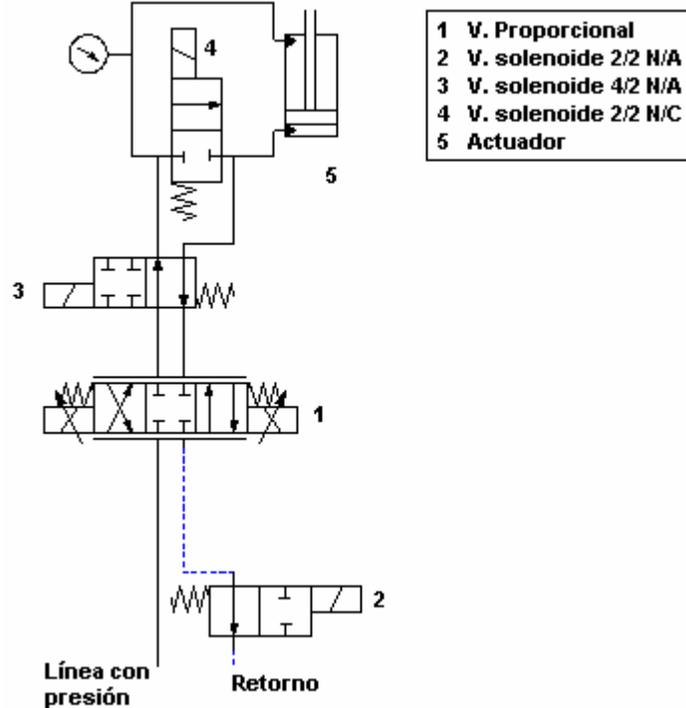
- **Fallo N° 1.** El primer fallo simulado en el banco es la pérdida de alguno de los sistemas hidráulicos principales, que es causado generalmente por falla de la bomba, ruptura en alguna de las líneas del sistema, falla en el sistema eléctrico de control de la válvula ON/OFF (o circuit breaker), etc. Éste puede ser simulado, aislando cualquiera de los sistemas hidráulicos desde el interruptor ON/OFF en el panel de control principal. Los actuadores adquirirán movimiento debido al anclaje en el terminal de sus vástagos.

Al accionar los interruptores de encendido de los sistemas hidráulicos, quedarán operativos para el funcionamiento bajo condiciones normales, pero dado el caso que se requiera simular la pérdida de alguno de los sistemas (puede ser el sistema N° 1 o N° 2 siempre y cuando alguno permanezca operativo), se pulsa de nuevo el interruptor apagando el sistema que se desee inhabilitar.

- **Fallo N° 2.** Este fallo simulado, está basado en problemas de obstrucciones o taponamientos en la línea de retorno de los servoactuadores; siendo los problemas típicamente mas presentados en el sistema hidráulico del helicóptero Bell 212/412 como se ve en el capítulo 5. Para evitar complicaciones a causa de este taponamiento, los servoactuadores están anclados y el sistema que se encuentre operativo proporcionará el movimiento en estos casos.

La condición que debe haber, es que el fluido presurizado dentro del servoactuador pueda circular libremente a través del sistema de chequeos opuestos como se presenta en el helicóptero. Para la simulación de la falla correspondiente al taponamiento (ver figura 6.10), se acciona la válvula solenoide de fallo “2” (2/2, N/A de tapón en el retorno) y al mismo tiempo se activan las válvulas solenoides “3 y 4” (válvulas 4/2 N/A y 2/2 N/C) permitiendo la libre circulación del fluido a ambos lados de las cámaras del actuador.

Figura 6.9 Componentes de fallo “taponamiento en la línea de retorno”



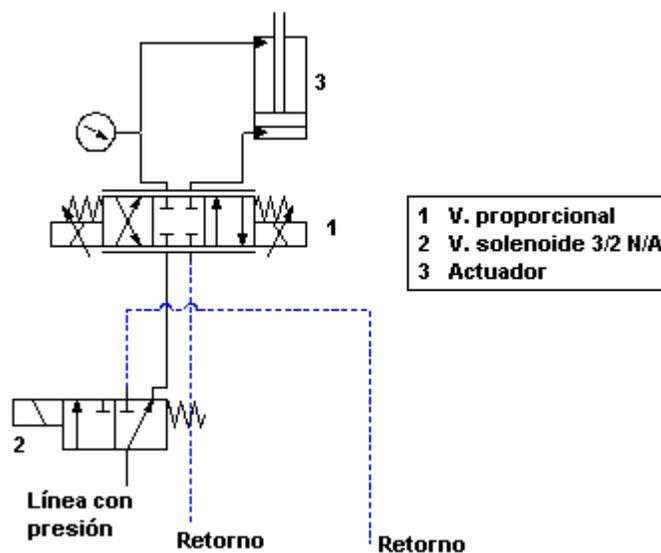
Cabe anotar que los actuadores se encuentran anclados en un terminal de sus vástagos por medio de acoples “Clevis”, para que en caso de simular el fallo, el movimiento permanezca por efecto del sistema que se encuentre habilitado y sea similar al helicóptero.

Para que el movimiento sea controlado satisfactoriamente en cuanto a desplazamiento, velocidad y además que no exista peligro de rotura en los acoples entre vástagos, las válvulas proporcionales controlarán un caudal idéntico en ambos actuadores de cada sistema; los sensores de posición a lo largo de la carrera del cilindro retroalimentarán la señal de la válvula con la posición del émbolo y adicionalmente cabe señalar que los actuadores son geoméricamente iguales. Los márgenes de presión se mantendrán compensados por las válvulas de alivio de cada sistema y la compensación de las bombas.

El conjunto de válvulas encargadas para generar el fallo de taponamiento en el retorno, se encuentran ubicadas en cada sistema de control de actuadores; es decir esta falla se puede simular en el cíclico izquierdo, derecho y colectivo de cada sistema principal. Dentro de esta falla, se podrá simular la pérdida de un sistema cíclico o colectivo completo, es decir aislar ambos actuadores del mismo conjunto (cíclico derecho, izquierdo y colectivo).

- **Fallo N° 3.** El fallo en el sistema direccional o antitorsión, será simulado utilizando una válvula 3/2 N/A, donde dado el mando de operación desviará el fluido hacia el retorno dejando aislada la válvula proporcional y el actuador. (Ver figura 6.10)

Figura 6.10 Componentes de fallo en el sistema de antitorsión

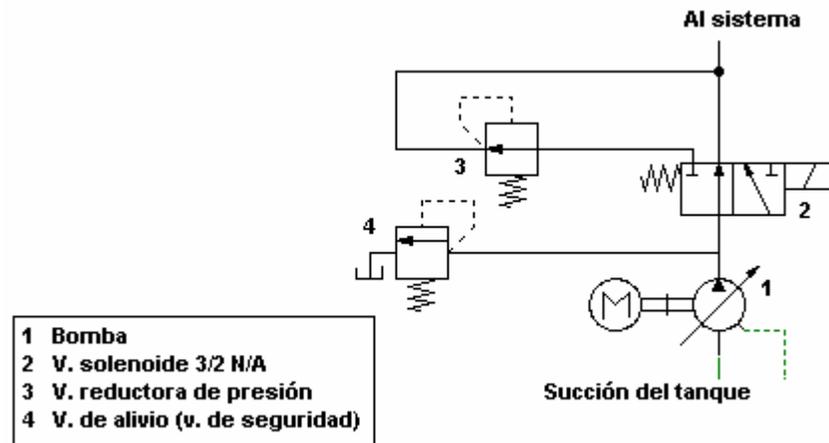


Este sistema de antitorque se diferencia en que no tiene asistencia con otro sistema independiente, únicamente el sistema hidráulico N° 1 se encarga de suministrarle potencia a este actuador. El helicóptero posee la capacidad de continuar un vuelo así el actuador hidráulico de antitorsión se encuentre

deshabilitado, ya que el cíclico puede encargarse de la función de proveer dirección. Cabe anotar que el actuador que cambia el paso del rotor de cola se puede encontrar fuera de servicio, más no el sistema de rotor de cola como tal.

- **Fallo N° 4.** El fallo de caída de presión es muy común en los sistemas hidráulicos corrientes, debido a baja cantidad de aceite, la válvula de alivio está atrancada en posición abierta, bomba defectuosa, fugas de presión en alguna válvula, filtro parcialmente o totalmente tapado, etc. La figura 6.12 muestra el conjunto de válvulas que generarán la caída de presión en el sistema.

Figura 6.11 Componentes de fallo “caída de presión”

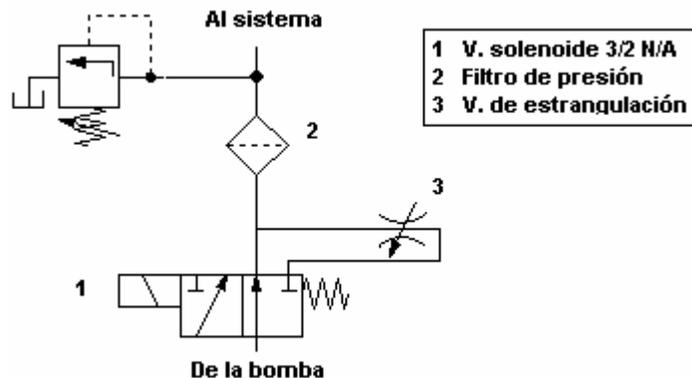


Para simularlo, en el primer tramo de cada sistema hidráulico, se encuentra una conexión que por medio de una válvula solenoide 3/2 N/A, se desvía el flujo proveniente de la bomba y lo obliga a pasar por la válvula reductora de presión, que la reducirá hasta un valor cercano a los 500 psi; en caso de operación normal del sistema donde no se simula el fallo, el fluido sigue a través de la válvula hacia el sistema. En el momento de simular el fallo, la presión proveniente de la bomba es alta puesto que es la entrega al sistema; para proteger este dispositivo, se encuentra instalada una válvula de alivio adicional, que tendrá una apertura

cercana a la presión máxima del sistema con un 30% adicional, o sea de 1430 psi dado que la presión máxima del sistema será de 1100 psi.

- **Fallo N °5.** El fallo de caída de caudal, se produce generalmente porque el filtro está totalmente obstruido, línea de succión tapada, etc. Para ello se dispone de una válvula solenoide 3/2 N/A, que dirige el flujo proveniente de la bomba hacia una estrangulación, de forma que el régimen de caudal disminuya considerablemente y tenga efectos inmediatos sobre el sistema como velocidad lenta e irregularidades. (Ver figura 6.12).

Figura 6.12 Componentes de fallo “caída de caudal”



7. CÁLCULOS DE DISEÑO Y ELECCIÓN DE COMPONENTES

Para el cálculo del sistema hidráulico, se requiere partir de datos basados en las características originales del helicóptero. La siguiente tabla indicará los requisitos iniciales:

Tabla 7.0 Parámetros iniciales

Presión nominal del sistema	1000 psi
Velocidad de avance	0.1 m/s
Carrera del cilindro	6"
Control	Netamente Eléctrico

La presión del sistema se conservará igual al sistema hidráulico del helicóptero. La fuerza que los actuadores requieren para mover cargas, no es una limitante debido a que el banco no tendrá el sistema del rotor principal, plato cíclico, ni las palas del rotor principal, por consiguiente, los cilindros no tendrán cargas externas de trabajo, únicamente el movimiento. Con valores estudiados en el capítulo 5, el servo-actuador proporciona una fuerza de 1500 lb_f. y una carrera en el cilindro de 5.5 pulg., esta medida será estandarizada a 6 pulg., por disponibilidad comercial en cilindros. El banco será controlado electrónicamente en su totalidad, las válvulas que se elegirán tendrán activación por solenoide. La única excepción será en el sistema de simulación de frenado del rotor, donde la función no es tan relevante y puede ser accionado por medio de palanca.

7.1 CÁLCULO DE ACTUADORES

Los cilindros convierten la potencia hidráulica en movimiento lineal y fuerza. La fuerza lineal entregada por el cilindro es producto de la presión y del área efectiva, despreciando las pérdidas.

En el cálculo de un actuador, una vez determinada la presión de operación del sistema, fuerza del cilindro, carrera y velocidad requerida para la aplicación, se procede a calcular el área efectiva:

$$A = \frac{F}{\Delta p \cdot \eta_{hm}} \quad (1)$$

donde:

A = Área efectiva

Δp = Diferencial de presión entre el cilindro

η_{hm} = eficiencia del cilindro hidráulico (0.85 – 0.95)

Con base en lo anterior, el actuador no tiene limitantes en cuanto a fuerza, por lo tanto se escoge similar la capacidad de carga del servoactuador del helicóptero Bell 212/412 con un valor aproximado a las 1500 lb-f:

$$A = \frac{1500lb}{1000psi \cdot 0.9} = 1.667in^2$$

Como el banco consta de dos sistemas independientes, los cilindros deben ser calculados para cada sistema. Para el sistema N° 1, se necesitan 4 actuadores de doble acción y en base al área efectiva calculada, los fabricantes de componentes hidráulicos disponen de catálogos que presentan tablas para la elección de los cilindros. Se escoge como fabricante EATON, puesto que cuentan una serie de cilindros que tienen sensor de posición e indican cualquier punto en la carrera. Los sensores de posición en este elemento, son indispensables para el funcionamiento y están catalogados en la Serie R5, modelo HR5 que presenta las características:

Tabla 7.1 Datos del actuador

Presión de trabajo	1000 psi
Diámetro pistón	1 ½ in
Diámetro vástago	1 in
Área efectiva de avance	1.84 in ²
Área efectiva de retroceso	0.79 in ²

Fuerza de entrega al avance	1840 lb-f
Fuerza de halado	790 lb-f

El caudal de avance requerido para mover el actuador con una velocidad de 0.1 m/s se calcula:

$$Q = A \cdot V \quad (2)$$

donde:

V = Velocidad del actuador

$$Q = (1.84in^2) \cdot (3.9370in / s)$$

$$Q = 7.2440in^3 / s = 1.8816GPM$$

El caudal de retroceso para el actuador de actuador se calcula:

$$Q = (0.79in^2) \cdot (3.9370in / s)$$

$$Q = 3.1102in^3 / s = 0.8078GPM$$

Finalmente, el caudal de diseño para el sistema N° 1 se obtiene de la suma de los caudales de avance para los actuadores.

$$Q_d = \sum Q_{ava} \quad (3)$$

donde:

Q_d = Caudal de diseño

Q_{ava} = Caudal de actuadores de vástago doble

$$Q_d = \sum Q_{ava}$$

$$Q_d = 1.8816GPM + 1.8816GPM + 1.8816GPM + 1.8816GPM$$

$$Q_d = 7.5264GPM \approx 7.55GPM = 1744.05in^3 / min$$

Para el sistema N° 2, se requiere similitud en los actuadores, y a diferencia del sistema N° 1, este requiere 3 actuadores, por lo tanto el caudal de avance para cada actuador es idéntico al de los cilindros del sistema N° 1. El caudal de diseño se calcula:

$$Q_d = \sum Q_{ava}$$

$$Q_d = 1.8816GPM + 1.8816GPM + 1.8816GPM$$

$$Q_d = 5.6448GPM \approx 5.65GPM = 1305.15in^3 / min$$

7.2 CÁLCULO DE LA BOMBA Y EL MOTOR

El desplazamiento requerido de la bomba para la entrega de caudal, depende de la velocidad disponible en el eje de la bomba. El desplazamiento de la bomba se calcula:

$$V_d = \frac{Q}{n} \quad (4)$$

donde:

V_d = Desplazamiento de la bomba (in^3/rev)

n = Velocidad de la bomba (RPM)

Para el sistema hidráulico N° 1, se define la velocidad entregada al eje de la bomba acuerdo a motores eléctricos disponibles y el caudal de diseño previamente calculado.

$$V_d = \frac{1744.05in^3 / min}{1800RPM}$$

$$V_d = 0.97in^3 / rev$$

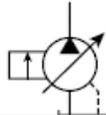
El desplazamiento requerido para la bomba del sistema N° 2, de acuerdo a los cilindros es:

$$V_d = \frac{1305.15in^3 / min}{1800RPM}$$

$$V_d = 0,7250in^3 / rev$$

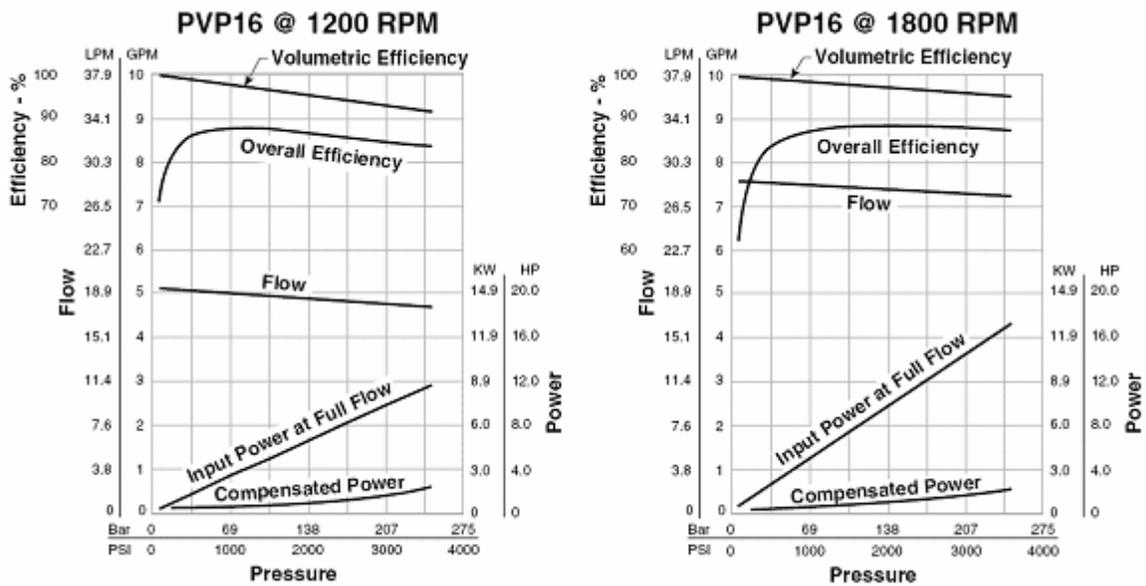
De acuerdo a los requerimientos del sistema, la bomba escogida con representación comercial, tiene las siguientes características:

Tabla 7.2 Características de la bomba escogida

Símbolo	
Fabricante	PARKER
Modelo	PVP 16
Descripción	Bomba de pistones, volumen variable, presión compensada.
Desplazamiento	16.4 cm ³ /rev (1.0 in ³ /rev)
Potencia de entrada a 1800 RPM, desplazamiento máximo y presión de 248 bar (3600 psi)	13.1 kW (17.5 HP)
Rango de Velocidad	600 – 1800 RPM
Rango de presión	Entrada 1.72 bar (25 psi) máx.; 0.17 bar (50 in Hg) vacío mínimo a 1800 RPM Salida 248 bar (3600 psi) continuo, 310 bar (4500 psi) pico.
Puertos	Entrada y salida (traseros) 1 1/16 – 12 UN-2B Drenaje 9/16 – 18 UNC

De acuerdo a los datos de rendimiento de la bomba proporcionados por el fabricante, la potencia necesaria para entregar la presión del sistema se calcula:

Figura 7.0 Rendimiento típico de la bomba



Para el sistema N° 1, según las gráficas de rendimiento la bomba requiere una potencia:

$$HP = \left[\frac{Q \cdot (PSI)}{1714} \right] + (CHp) \quad 12 \quad (5)$$

donde:

Q = Caudal de salida en GPM

PSI = Presión de salida de la bomba

CHp = Potencia compensada

$$HP = \left[\frac{7.55GPM \cdot (1100psi)}{1714} \right] + (1HP)$$

$$HP = 5.8454HP \approx 5.85HP$$

Para el sistema N° 2:

$$HP = \left[\frac{5.65GPM \cdot (1100psi)}{1714} \right] + (1HP)$$

$$HP = 4.6260HP \approx 4.63HP$$

El sistema operará con un solo motor eléctrico, que suministre la potencia necesaria para que ambas bombas operen adecuadamente, por razones de costos y ahorro de espacio en el banco.

Con base en el cálculo se escoge un motor con las siguientes características:

Tabla 7.3 Características del motor eléctrico

Símbolo	
Fabricante	SIEMENS
Modelo	1LA7 133-4YC80
Potencia nominal	12 HP (8.95 kW)
Número de Fases	3
Velocidad nominal	1750 RPM
Velocidad sincrónica	1800 RPM
Torque nominal	48.84 N·m

¹² Parker Hannifin Corporation Hydraulic Pump Division, Catalog HY-28-2661-CD/US, Series PVP16, pp. 14.

Puesto que las bombas de cada uno de los sistemas requieren un caudal suministrado que se encuentre en función de la velocidad de rotación del eje de la bomba, se debe calcular una transmisión para obtener las dos velocidades rotacionales partiendo del mismo motor. Para ello se utilizará una transmisión de poleas acanaladas para banda en V, que suministren la potencia y la velocidad requerida utilizando un solo motor. Se elige este tipo de transmisión, ya que utilizando un sistema de engranajes resultaría bastante costoso en el momento de fabricación y adicionalmente las bandas en V proporcionan ventajas como:

- La distancia entre ejes puede ser tan pequeña como permitan las poleas.
- La relación de diámetros entre poleas puede ser muy grande, llegando hasta 12/1.
- Las correas trapeciales trabajan en cualquier posición.
- Pueden usarse correas múltiples.
- Requieren muy poca tensión inicial gracias al efecto cuña¹³.
- Soporta muy bien las temperaturas extremas.
- No atacan a los cojinetes de soporte de las poleas por tensión excesiva.
- Resisten la intemperie.

7.2.1 Diseño del Sistema de Transmisión. El motor presentará una transmisión y/o reducción por medio de un sistema de poleas, y transmisión de potencia por bandas. De acuerdo a la potencia mínima calculada para que las bombas suministren presión y velocidad necesaria, y teniendo un factor de seguridad de 1.15, se calcula:

$$P_T = (P_{M1} + P_{M2}) * F.S = (5.85HP + 4.63HP) * 1.15$$

$$P_T = 11.1665 \cong 12.052HP \quad (6)$$

donde:

¹³Las poleas acanaladas afectan la capacidad de transmisión ya que el denominado *efecto cuña* da lugar a una fuerza normal de la correa sobre la polea muy superior a la de las correas planas.

PT = Potencia total requerida

P_{M1} = Potencia para la bomba 1

P_{M2} = Potencia para la bomba 2

F.S = Factor de seguridad

Con los valores de la tabla 7.3 se calcula la transmisión:

Tabla 7.4 Requisitos para la transmisión

Velocidad de Entrada	1800 RPM
Velocidad de Salida 1	1800 RPM
Velocidad de Salida 2	1800 RPM
Potencia 1	5.85 HP \approx 6 HP
Potencia 2	4.63 HP \approx 6 HP

Debido a que si se escoge un motor de velocidad superior a 1800 RPM y con potencia de entrega alta, los costos pueden incrementar; por tal razón se establecen limitantes como la velocidad y la potencia. Cabe anotar que la bomba que más rápido gira es para el sistema hidráulico N° 1 y requiere una velocidad de 1800 RPM, valor que el motor induce inicialmente.

Tabla 7.5 Factores de servicio para bandas en “V”¹⁴

Tipo de máquina que es impulsada	Tipo de Impulsor					
	Motores de CA: torque normal. Motores de CD: bobinado en derivación. Motores: de cilindro múltiple.			Motores de CA: torque normal. Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto. Motores: de cilindro múltiple.		
	< 6 h por día	6 – 15 h por día	> 15 h por día	< 6 h por día	6 – 15 h por día	> 15 h por día
Agitadores, ventiladores, ventiladores con tolva, bombas centrífugas, transportadores, ligeras.	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, herramientas para máquinas, mezcladores, transportadores, grava.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de baldes o recipientes, máquinas textiles, molinos de martillo, transportadores, pesadas.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6

¹⁴ Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Impulsores de Banda e Impulsores de Cadena, Tabla 13-1, pp. 540.

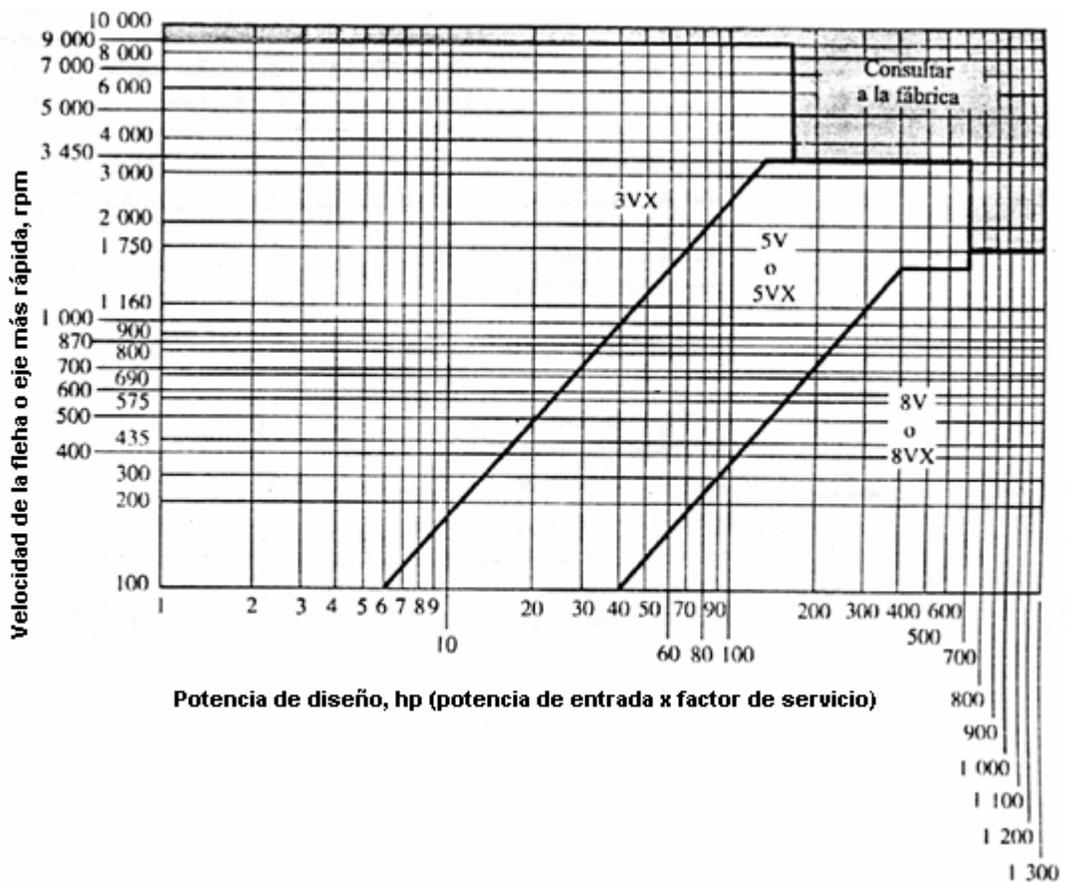
Trituradoras, molinos de bola, malacates, extruidoras de hule.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Cualquier máquina que pueda ahogarse.	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Para un motor eléctrico con funcionamiento menor a 6 horas por día, se especifica un factor de servicio y se calcula la potencia de diseño. Para este diseño, el tipo de carga es ligera y proveniente de un motor eléctrico trifásico, por lo tanto SF = 1.0 (Ver tabla 7.4). La potencia de diseño que se entrega a los sistemas:

$$P_D = (6HP)*1 \quad (7)$$

$$P_D = 6HP$$

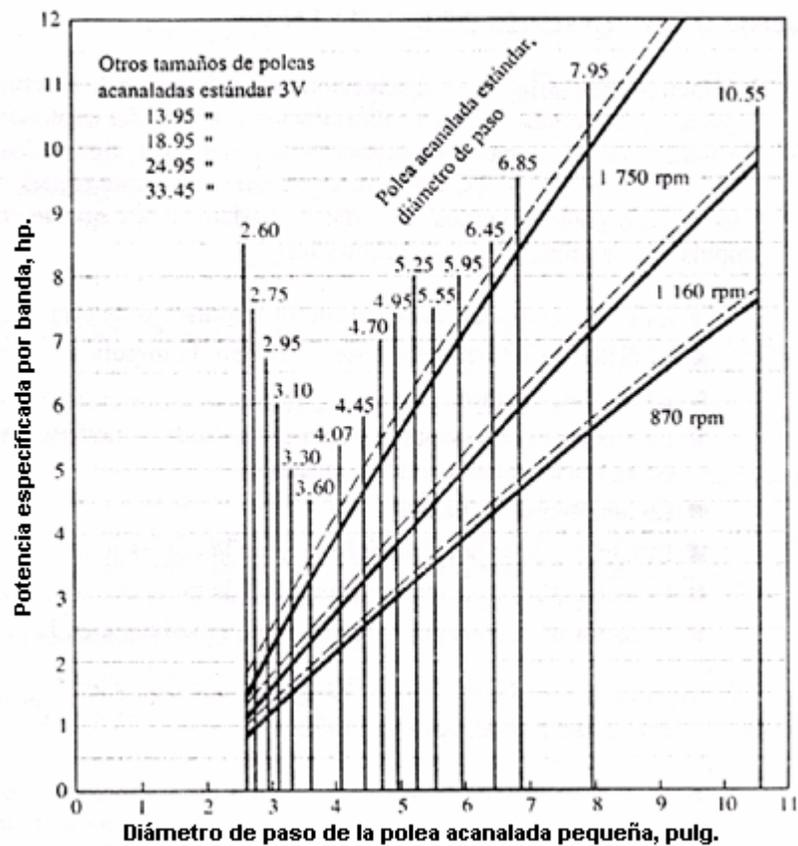
Figura 7.1 Gráfica de selección para bandas en V industriales de sección estrecha



Diseño de elementos de máquinas – Robert L. Mott.

Con respecto a la cantidad de potencia requerida, se selecciona la banda; para una potencia de entrega de 12 HP que debe ser distribuida a ambos ejes, con un mínimo de 6 HP para cada una y una velocidad de entrada de 1800 RPM en cada sistema, se requiere una banda 3V.

Figura 7.2 Especificación de potencia: bandas 3V



Diseño de elementos de máquinas – Robert L. Mott

La relación nominal de velocidad, se calcula:

$$R = \frac{1800RPM}{1800RPM}$$

$$R = 1$$

Para calcular el tamaño de la polea impulsora acanalada, se parte de un parámetro inicial donde la flecha rápida (motor eléctrico) generará una velocidad de banda de 3000 ft/min aproximadamente. Estas velocidades lineales generalmente están entre 2500 – 7000 ft/min. Así la velocidad de banda está definida como:

$$V_b = \pi \cdot D_1 \cdot n_1 / 12 \text{ ft / min} \quad (8)$$

$$D_1 = \frac{V_b \cdot 12}{\pi \cdot n_1} = \frac{12 \cdot 3000}{\pi \cdot 1800} = 6.3632''$$

donde:

V_b = Velocidad de banda.

D_1 = Diámetro requerido de la polea.

n_1 = Velocidad de entrada (rpm).

A continuación, se seleccionan tamaños para realizar pruebas a la polea de entrada y se calcula el tamaño de la polea de salida. Se seleccionan poleas de tamaño estándar para la salida y se calcula la relación y la velocidad real que entrega. Como para este caso la relación de transmisión es 1 o es la misma velocidad de entrega, se escoge una polea con diámetro “ D_2 ” cercano al calculado.

Tabla 7.6 Poleas sistema N° 1

Tamaño de la polea impulsora estándar (D_1)	Tamaño aproximado de la polea impulsada estándar ($1 \cdot D_1$)	Polea estándar mas cercana (D_2)	Velocidad real de salida (rpm)
13.95	13.95	13.95	1800
10.55	10.55	10.55	1800
7.95	7.95	7.95	1800
6.85	6.85	6.85	1800
5.95	5.95	5.95	1800
5.55	5.55	5.55	1800

¹⁵ Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Impulsores de Banda e Impulsores de Cadena, Ecuación 13-1A, pp. 534.

5.25	5.25	5.25	1800
4.95	4.95	4.95	1800
4.70	4.70	4.70	1800
4.45	4.45	4.45	1800

Por cuestiones de espacio, se escoge la más cercana al tamaño, pero no inferior al calculado. A partir de las gráficas de fabricantes de poleas, se determina la potencia. Dado que los sistemas no tienen relación de velocidades, por el contrario solamente es requerida la transmisión de potencia, es indispensable que se transmitan como mínimo 6 HP desde la polea de entrada. Por esta razón se utiliza una polea doble en la entrada y de salida una sencilla con las mismas dimensiones.

Tabla 7.7 Poleas de la transmisión

Sistema N° 1	
Banda	3V
Polea a 1800 rpm	6.85"
Potencia especifica	6 hp
Sistema N° 2	
Banda	3V
Polea a 1800 rpm	6.85"
Potencia especifica	6 hp

A continuación se especifica una distancia entre centros inicial "C" y se realizan pruebas correspondientes. Para realizar la estimación de C se utiliza la siguiente ecuación:

$$D_2 < C < 3 \cdot (D_2 + D_1) \quad ^{16} \quad (9)$$

$$6.85 < C < 3 \cdot (6.85 + 6.85)$$

$$6.85 < C < 41.1$$

Debido a que el espacio en el banco es limitado, se utiliza preliminarmente una distancia de **C = 10"** para cada sistema.

¹⁶ Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Impulsores de Banda e Impulsores de Cadena, ecuación 13-8, pp. 535.

Para calcular la longitud de la banda necesaria, se utiliza la ecuación:

$$L = 2 \cdot C + 1.57 \cdot (D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4 \cdot C} \quad 17 \quad (10)$$

$$L = 2 \cdot (10) + 1.57 \cdot (6.85 + 6.85) + \frac{(6.85 - 6.85)^2}{4 \cdot 10} = 41.509''$$

donde:

L = Relación entre longitud de paso.

De la tabla 7.7, se selecciona una longitud de banda estándar y se calcula la distancia central real.

Tabla 7.8 Longitudes de banda estándar para bandas "3V, 5V y 8V" ¹⁸

Sólo 3V	3V y 5V	3V, 5V y 8V	5V y 8V	Sólo 8V
25	50	100	150	375
26.5	53	106	160	400
28	56	112	170	425
30	60	118	180	450
31.5	63	125	190	475
33.5	67	132	200	500
35.5	71	140	212	
37.5	75		224	
40	80		236	
42.5	85		250	
45	90		265	
47.5	95		280	
			300	
165			315	
			335	
			355	

Diseño de elementos de máquinas – Robert L. Mott

La longitud que más se aproxima a la calculada es de 40".

Por lo tanto:

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32 \cdot (D_2 - D_1)^2}}{16} \quad B = 4 \cdot L - 6.28 \cdot (D_2 + D_1) \quad 19 \quad (11)$$

¹⁷ Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Impulsores de Banda e Impulsores de Cadena, Ecuación 13-3, pp. 534.

¹⁸ Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Impulsores de Banda e Impulsores de Cadena, Tabla 13-2, pp. 544.

$$B = 4 \cdot (40) - 6.28 \cdot (6.85 + 6.85) = 73.964''$$

$$C = \frac{73.964 + \sqrt{(73.964)^2 - 32 \cdot (6.85 - 6.85)^2}}{16} = 9.2455''$$

donde:

C = Distancia central.

El ángulo de contacto o ángulo envolvente de la banda en la polea pequeña es de 180°, debido a que la relación de velocidades es igual a 1.

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \cdot \text{sen}^{-1} \left(\frac{D_2 - D_1}{2 \cdot C} \right) \quad (12)$$

Para calcular los factores de corrección, se utilizan las gráficas (ver figuras 7.3 y 7.4), utilizando el ángulo obtenido:

Tabla 7.9 Factores de corrección

Para "Θ ₁ "	180°
C _θ (factor de corrección del ángulo de la envolvente)	1.00
Para "L"	40"
C _L (factor de corrección para longitud de la banda)	0.90

Entonces se calcula la potencia especificada corregida por la banda y el número de bandas que se necesitan para transmitir la potencia de diseño:

$$P_c = C_\theta \cdot C_L \cdot P \quad (13)$$

$$P_c = C_\theta \cdot C_L \cdot P = 1 \cdot 0.91 \cdot 6HP = 5.46HP$$

$$N_B = 6HP / 5.46HP = 1.0989$$

donde:

P_c = Potencia corregida.

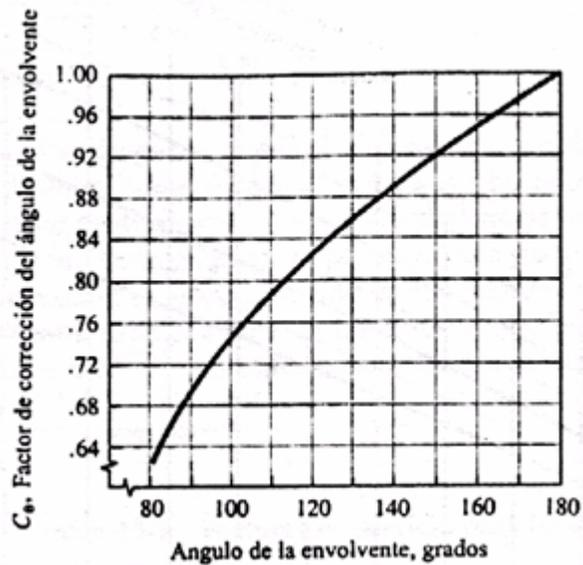
N_B = Número de bandas.

¹⁹ Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Impulsores de Banda e Impulsores de Cadena, Ecuación 13-4, pp. 534.

²⁰ Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Impulsores de Banda e Impulsores de Cadena, Ecuación 13-5, pp. 534.

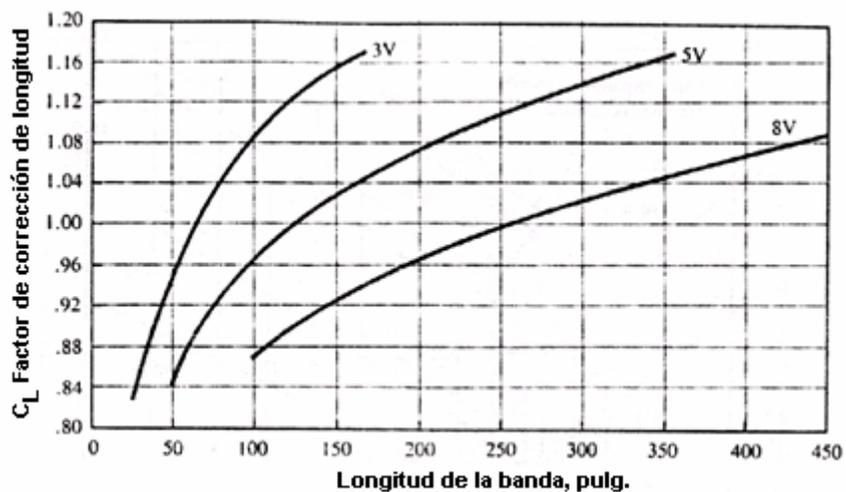
Cabe anotar que la potencia de diseño es la potencia total entregada por el motor eléctrico y esta es dividida en dos (se divide en cada una de las poleas de entrada), que luego será entregada en fracciones casi iguales para cada sistema.

Figura 7.3 Factor de corrección del ángulo de la envolvente, C_θ



Diseño de elementos de máquinas – Robert L. Mott

Figura 7.4 Factor de corrección para longitud de la banda, C_L



Diseño de elementos de máquinas – Robert L. Mott

- **Cálculo de Cargas en la Transmisión.** En este caso como el accionamiento se hace por correa, el motor tiene que estar montado sobre rieles tensores o sobre una base desplazable, con el fin de poder ajustar la tensión correcta de la correa y retensarla cuando sea preciso. Si la correa se tensa demasiado, se ponen en peligro los cojinetes y el eje del motor; por el contrario, si se tensa poco, resbala la correa. Para ello, los soportes de las bombas cuentan con ranuras donde van sujetos los pernos de retención de la misma y en caso de tensar la correa, el conjunto donde se instalan las bombas puede desplazarse hacia los lados y evitarse así este problema.

Para determinar las cargas que actúan sobre los ejes de las bombas y el motor eléctrico y comprobar que no habrá problemas ocasionados por las tensiones radiales, se deben analizar las fuerzas que actúan en las poleas.

En la parte superior e inferior de la banda, se están sometidas a tensión; la tensión F_1 tiene una mayor magnitud que en el lado flojo (lado inferior de la banda) con una carga F_2 , y por lo tanto la fuerza neta se puede calcular con la ecuación:

$$F_N = F_1 - F_2 \quad 21 \quad (14)$$

Y la magnitud de la fuerza neta de impulso a partir del torque inducido se calcula:

$$F_N = \frac{T}{D/2} \quad 22 \quad (15)$$

donde:

T = Torque inducido

D = Diámetro de la holgura de la polea.

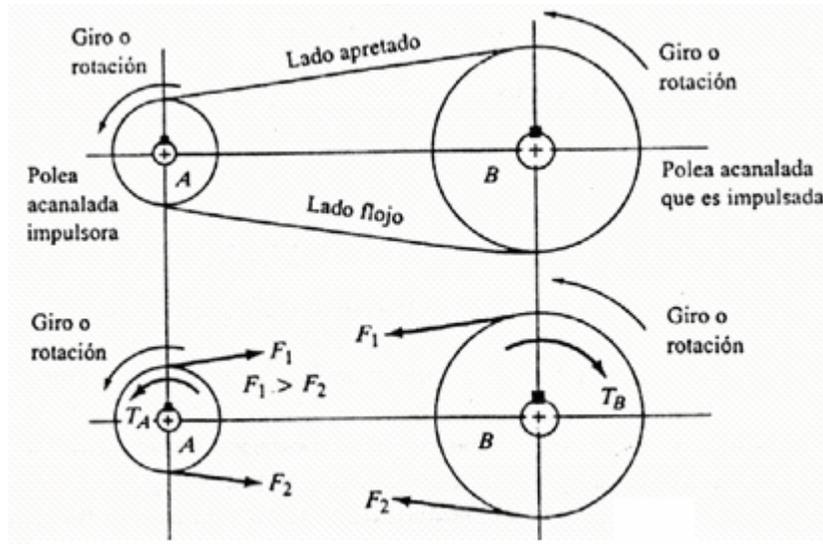
Para calcular la fuerza de flexión de la polea impulsada, se requiere de una ecuación donde estén relacionadas ambas fuerzas de tensión (F_1 y F_2), suponiendo que en el lado tenso y en el lado flojo existe relación:

²¹ Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Diseño de Flechas o Ejes, Ecuación 9-7, pp. 290.

²² Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Diseño de Flechas o Ejes, Ecuación 9-8, pp. 291.

$$F_B = 1.5 \cdot F_N = \frac{1.5 \cdot T}{D/2} \quad 23 \quad (16)$$

Figura 7.6 Fuerzas en las poleas acanaladas para bandas



Diseño de elementos de máquinas – Robert L. Mott

Cada bomba recibe 6 HP del motor eléctrico, por medio de una polea, y ésta va posicionada en forma axial.

Las figuras 7.9 a y 7.9 b muestran un boceto de la disposición de la transmisión, donde el motor eléctrico se encuentra a un nivel un poco más alto de las bombas y por lo cual existe un ángulo de inclinación que varía las cargas.

Cada bomba recibe aproximadamente 6 HP por medio de las poleas. Para calcular el torque que entra en la polea y termina en la bomba:

$$T = \frac{63000 \cdot P}{n} = \frac{63000 \cdot 6HP}{1800RPM} = 210lb \cdot in$$

²³ Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Diseño de Flechas o Ejes, Ecuación 9-12, pp. 291.

Figura 7.7 a Boceto según la vista perfilada de los ejes

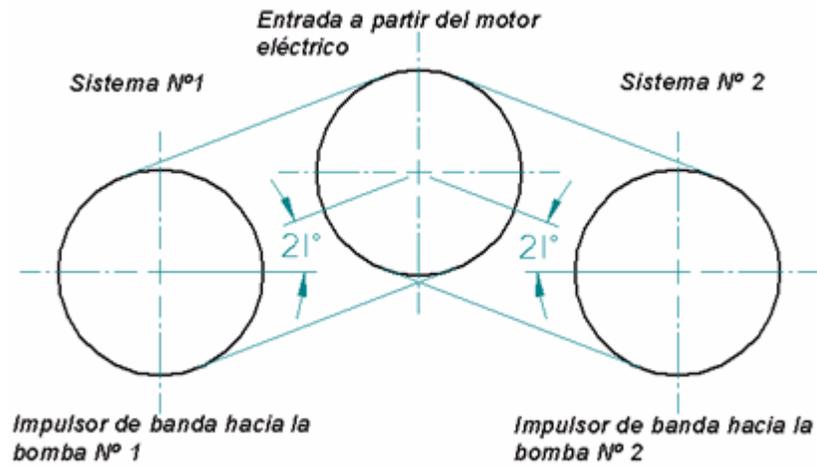
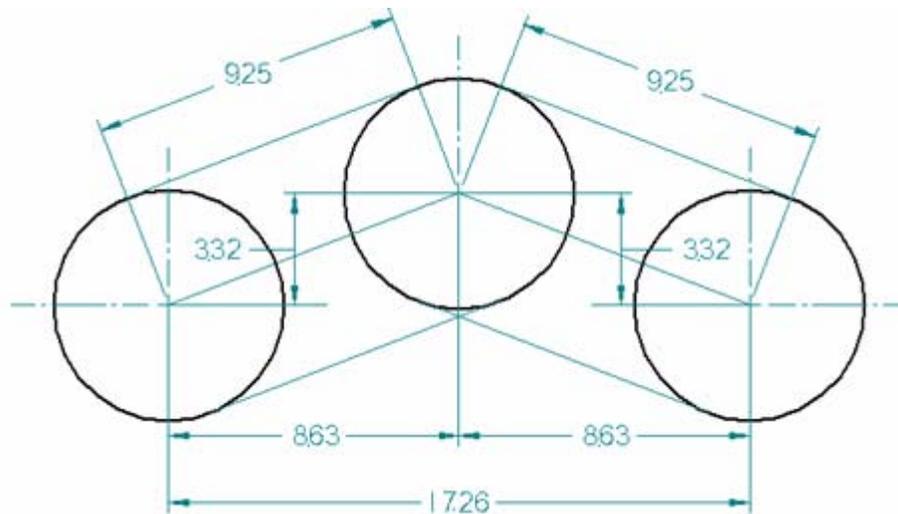


Figura 7.7 b Boceto con dimensiones de las poleas (pulgadas)



De acuerdo a las fuerzas presentadas en las poleas, y teniendo en cuenta las ecuaciones de fuerzas, se calcula:

Fuerza impulsora neta (F_N):

$$F_N = F_1 - F_2 = \frac{T}{D/2} = \frac{210lb \cdot in}{6.85"/2} = 61.3138lb$$

Fuerza de flexión (F_B):

$$F_B = 1.5 \cdot F_N = 1.5 \cdot (61.9708 \text{ lb}) = 91.9708 \text{ lb} \cong 409.0861 \text{ N}$$

Debido a que las fuerzas de flexión actúan ascendentemente y hacia la izquierda a un ángulo de 21° con respecto a la horizontal, presenta dos componentes en los planos:

$$F_x = F \cdot \cos(21^\circ) = 91.9708 \cdot \cos(21^\circ) = 85.8621 \text{ lb}$$

$$F_y = F \cdot \text{sen}(21^\circ) = 91.9708 \cdot \text{sen}(21^\circ) = 32.9593 \text{ lb}$$

Eje del motor eléctrico:

Las cargas en el eje del motor son iguales a las generadas por las poleas en los sistemas 1 y 2, pero debe tenerse en cuenta que en el eje del motor se encuentra una polea de doble canal con 6.85" de diámetro. Por lo tanto las fuerzas se calculan:

Tabla 7.11 Fuerzas en el eje del motor

Torque Entrada	48.84 N·m (432.2123 lb·in)
Potencia de Diseño	12 HP
F_N	126.1933 lb.
F_B	189.2899 lb. (841.9614 N)

Finalmente la tabla resume con base en las ecuaciones, las cargas presentadas en los sistemas y en el eje del motor. Con base en los catálogos de los elementos, éstos deben soportar la carga radial de la transmisión, asegurando que no se sobrecarguen y puedan ocurrir daños durante el funcionamiento.

Tabla 7.12 Cargas en los ejes

Eje del Motor	
<i>Carga radial admisible</i>	1050 N
F_N	126 lb.
F_B	189.5 lb. (842 N)
Eje de la Bomba	
<i>Carga radial admisible</i>	-
F_N	61.5 lb.

F_B	92 lb. (409 N)
F_X	86 lb.
F_Y	33 lb.

7.3 CÁLCULO DEL ACUMULADOR

La función de los acumuladores es almacenar fluido hidráulico presurizado y tiene un número de funciones dentro del sistema hidráulico tales como:

- Compensación de fugas
- Recurso de presión en emergencia
- Absorción de choques y pulsaciones
- Eliminación del ruido
- Contra-balance de cargas

El tipo más común de acumuladores que se emplean en sistemas hidráulicos modernos son con tipo cargados con nitrógeno, de los cuales hay tres variaciones: vejiga, diafragma y pistón. La presión requerida de precarga (p_1) para la carga de los acumuladores de nitrógeno se expresa como el porcentaje de la presión mínima del sistema hidráulico (p_2) y puede variar con las siguientes aplicaciones:

Tabla 7.13 Aplicaciones de acumuladores ²⁴

Aplicación	Presión del Gas (p_1)	Formula
Almacenamiento	90 % de p_2	$p_2 \times 0.9$
Eliminación de Choque	60 % de p_2	$p_2 \times 0.6$
Amortiguación de Pulsaciones	70 % de p_2	$p_2 \times 0.7$

Los acumuladores son calculados de acuerdo al volumen actual o efectivo del gas (V_1) cuando todo el aceite es descargado. El volumen del aceite disponible para dar el tamaño del acumulador, depende del volumen del gas disponible para sacarlo, conocido como el volumen de trabajo (V_W). El volumen de trabajo varía como lo hace la presión y la temperatura del gas. La temperatura del gas y por consiguiente el volumen, están influenciados por la velocidad a la cual el gas se

²⁴ Catalog HydraulicSupermarket.com 2000 – 2003, Accumulators.

comprime y descomprime así como el acumulador es cargado o descargado. Así, la razón de cambio de carga y descarga necesita considerarse al calcular el acumulador.

El sistema hidráulico, tiene 3 acumuladores: 2 están destinados para proporcionar presión parcialmente a los actuadores y amortiguar las pulsaciones, estos se encuentran en la línea de presión de cada sistema hidráulico. Adicionalmente, un tercer acumulador almacenará la presión necesaria para accionar el freno de rotor. El volumen efectivo del gas (V_1) en pulgadas cúbicas o litros que requiere un acumulador se calcula para los acumuladores destinados a almacenamiento de presión, con el fin de vencer la inercia de los actuadores en un momento de caída de presión:

$$p_1 = p_2 \cdot 0.9 \quad (17)$$

donde:

p_1 = Presión de precarga del gas (psi)

p_2 = Presión de operación mínima requerida (psi)

$$p_1 = (400 \text{ psi}) \cdot 0.9 = 360 \text{ psi}$$

Para calcular el volumen mínimo efectivo (V_1) requerido para un acumulador se procede con las siguientes variables:

V_w = Volumen requerido para el acumulador

p_1 = 360 psi

p_2 = 400 psi

p_3 = 1100 psi

k = 1.4 factor de corrección para flujo adiabático (nitrógeno)

El volumen requerido se calcula para un actuador del sistema:

$$V_w = A \cdot S^{25} \quad (18)$$

donde:

A = Área efectiva del cilindro

²⁵ Catalog HydraulicSupermarket.com 2000 – 2003, Accumulators.

S = Carrera del cilindro

$$V_w = (1.84in^2) \cdot (6in)$$

$$V_w = 11.04in^3$$

Para condiciones isotérmicas (carga y descarga lenta):

$$V_1 = \frac{V_w \cdot \left(\frac{p_2}{p_1}\right)}{1 - \left(\frac{p_2}{p_3}\right)} \quad V_1 = \frac{(11.04in^3) \cdot \left(\frac{400psi}{360psi}\right)}{1 - \left(\frac{400psi}{1100psi}\right)} = 19.2762in^3 \quad (19)$$

El volumen del acumulador se calcula para cada sistema, donde suministrará presión en caso de una caída presión momentánea.

El acumulador destinado para el almacenamiento de presión en el momento de accionar el freno, requiere una presión de 100 psi de acuerdo al elemento seleccionado, entonces:

$$p_1 = (100psi) \cdot 0.9 = 90psi$$

De acuerdo al mercado local, un freno de disco estándar como lo es para la aplicación cuenta con pistones de 1.125" de diámetro, 0.029 in³ de desplazamiento aproximadamente siendo un valor muy pequeño. El acumulador encargado para esta aplicación, debe ser el mas pequeño del mercado y se almacenará presión y fluido para le momento de actuación.

Con los volúmenes requeridos, se escoge un acumulador con las siguientes características:

Tabla 7.14 Características del acumulador

Acumulador de los sistemas hidráulicos	
Descripción	Acumulador de diafragma
Fabricante	EATON
Serie	A91-15 B 020 BN M 20
Tamaño	0.32 L
Volumen efectivo de gas	20 in. ³
Presión máxima	210 bar (3000 psi)

²⁶ Catalog HydraulicSupermarket.com 2000 – 2003, Accumulators.

Caudal	25 USgpm
Puertos	¾ -16 UNF
Acumulador sistema de freno	
Descripción	Acumulador de diafragma
Fabricante	EATON
Serie	A91-15 A 005 BN M 20
Tamaño	0.075 L
Volumen efectivo de gas	5 in. ³
Presión máxima	250 bar (3600 psi)
Caudal	10 USgpm
Puertos	9/16 -18 UNF

7.4 CÁLCULO DEL ELEMENTO FILTRANTE

El filtro es un componente esencial en un sistema hidráulico, su función es remover las partículas contaminantes del fluido hidráulico los cuales reducen la vida de servicio de los componentes a causa de desgaste abrasivo.

La primera consideración en el tamaño del filtro es la caída de presión dentro del elemento, y la magnitud de este elemento debe ser lo mas pequeña posible. La caída de presión se debe a:

- Tipo de medio y área
- Tamaño del bloqueo de partículas y eficiencia estimada
- Viscosidad del fluido y razón de flujo

El nivel de limpieza del filtro, dependiendo de un tipo particular de sistema determinando el tamaño de partículas que son bloqueadas y escogiendo una eficiencia para el filtro dado. El filtro escogido debe ser localizado a lo largo del sistema, conservando la presión máxima de trabajo permisible dentro de las especificaciones del fabricante del filtro.

La eficiencia del filtro está definida de acuerdo a los estándares internacionales ISO 4572, referidos comúnmente a la “prueba multi-paso”, expresada por la relación (β) para una partícula de tamaño (x). La relación beta²⁷ se define:

²⁷ Hydraulic Fluids and Lubricants Technical Information SAUER DANFOSS, pp. 6.

$$\beta_x = \frac{\text{Número de partículas de tamaño "x" entrando al filtro}}{\text{Número de partículas de tamaño "x" saliendo del filtro}} \quad (20)$$

La eficiencia beta²⁸ se define:

$$\% = \frac{\text{Nº de partículas de tamaño "x" entrando al filtro} - \text{Nº de partículas de tamaño "x" saliendo del filtro}}{\text{Nº de partículas de tamaño "x" entrando al filtro}} \quad (21)$$

Tabla 7.15 Eficiencia beta

EFICIENCIA DE VALORES BETA PROMEDIO					
β	%	β	%	β	%
2.0	50.00	5.8	82.76	52.2	98.084
2.4	58.33	16.0	93.75	75.0	98.67
3.0	66.66	17.4	94.25	100.0	99.0
4.0	75.00	32.0	96.875	173.0	99.42

Hydraulic Fluids and Lubricants Technical Information SAUER DANFOSS

El nivel de limpieza se define de acuerdo a estándares ISO, NAS o SAE.

Tabla 7.16 Niveles de limpieza ISO, NAS, SAE

TIPO DE SISTEMA	NIVEL DE LIMPIEZA MÍNIMO RECOMENDADO			NIVEL MÍNIMO DE FILTRACIÓN RECOMENDADO $\beta_x \geq 75$
	ISO 4406	NAS 1638	SAE 749	
SENSITIVO A SEDIMENTOS	13/10	4	1	2 μ
SERVO	14/11	5	2	3 – 5 μ
ALTA PRESIÓN (250 – 400 bar)	15/12	6	3	5 – 10 μ
PRESIÓN NORMAL (150 – 250 bar)	16/13	7	4	10 – 12 μ
PRESIÓN MEDIA (50 – 150 bar)	18/15	9	6	12 – 15 μ
BAJA PRESIÓN (< 50 bar)	19/16	10	-	15 – 25 μ
TOLERANCIA ALTA	21/18	12	-	25 – 40 μ

Hydraulic Fluids and Lubricants Technical Information SAUER DANFOSS

El sistema hidráulico requiere dos tipos de filtro, uno de succión, donde se proteja la bomba de impurezas y otro para el sistema de válvulas proporcionales. De acuerdo al diseño y las características para el sistema hidráulico del banco, el

²⁸ Hydraulic Fluids and Lubricants Technical Information SAUER DANFOSS, pp. 6.

nivel mínimo de filtración recomendado por los estándares para un sistema que utiliza válvulas proporcionales o un sistema servo, requieren un rango de 3 – 5 μ y nivel de limpieza 14/11 de acuerdo a ISO 4406; por otro lado, la bomba escogida requiere un elemento con filtración SAE 4, ISO 16/13 (máximo ISO 18/15) correspondiente a sistemas con presión normal. Con base en este rango, se escoge un filtro con la capacidad de filtración requerida. Se escoge el filtro con la capacidad filtrante más rigurosa.

Los elementos filtrantes escogidos presentan las siguientes de la tabla 7.18:

Tabla 7.17 Características elementos filtrantes

Filtro de Succión	
Descripción	Filtro de succión
Fabricante	EATON
Serie	OSS 2
Caudal	75 L/min. (20 USgpm)
Puerto	NPT 1 ¼
Filtro de Presión	
Descripción	Filtro de presión en línea
Fabricante	EATON
Serie	OFP 065
Presión máxima	420 bar (6090 psi)
Caudal	35 L/min (9.2 USgpm)
Capacidad	A03 (3 μ micrones)
Puertos	NPT ¾"

7.5 SELECCIÓN DEL FLUIDO HIDRÁULICO

Para la selección del fluido hidráulico, se deben considerar las siguientes propiedades dependiendo de la aplicación del sistema:

- Viscosidad
- Lubricación y reducción del desgaste
- Estabilidad a la oxidación
- Protección a la corrosión
- Características de separación de aire y agua

- Módulo de “bulk”²⁹
- Pour point
- Resistencia al fuego

Para determinar el grado de viscosidad requerido en la aplicación, se debe considerar la temperatura ambiente, el rango óptimo de viscosidad de operación y la temperatura de operación del sistema.

Con base en estos requerimientos, y la temperatura del sistema generada por la bomba, el fabricante recomienda un fluido hidráulico a base de petróleo ISO VG 46, para temperatura de 50 °C (122 °C).

Tabla 7.18 Clasificación de Viscosidad ISO

ISO Viscosity N°.	Middle viscosity in cSt (mm ² /s) at 104 °F (40 °C)	Kinematic Viscosity limits in cSt (mm ² /s) at 104 °F (40 °C)	
		Minimum	Maximum
ISO VG 2,00	2.20	1.98	2.42
ISO VG 3,00	3.20	2.88	3.52
ISO VG 5,00	4.60	4.14	5.06
ISO VG 7,00	6.80	6.12	7.48
ISO VG 10,00	10.00	9.00	11.00
ISO VG 15,00	15.00	13.50	16.50
ISO VG 22,00	22.00	19.80	24.20
ISO VG 32,00	32.00	28.80	35.20
ISO VG 46,00	46.00	41.40	50.60
ISO VG 68,00	68.00	61.20	74.80
ISO VG 100,00	100.00	90.00	110.00
ISO VG 150,00	150.00	135.00	165.00
ISO VG 220,00	220.00	198.00	242.00
ISO VG 320,00	320.00	288.00	352.00
ISO VG 460,00	460.00	414.00	506.00
ISO VG 680,00	680.00	612.00	748.00
ISO VG 1000,00	1000.00	900.00	1100.00
ISO VG 1500,00	1500.00	1350.00	1650.00

Hydraulic Fluids and Lubricants Technical Information SAUER DANFOSS

De acuerdo con la viscosidad de fluidos hidráulicos suministrada en la tabla 7.8, y en base a características de los elementos del sistema hidráulico, el fluido hidráulico elegido tiene las siguientes características:

²⁹ Módulo de Bulk (módulo de incompresibilidad o expansión).

Tabla 7.19 Características del fluido hidráulico

ISO Viscosidad N°	Viscosidad media (mm ² /s) a 40 °C	Viscosidad cinemática mínima (mm ² /s) a 40 °C	Viscosidad cinemática máxima (mm ² /s) a 40 °C
ISO VG 46.00	46.00	41.40	50.60

Comercialmente, los siguientes fluidos hidráulicos del fabricante EXON, presentan las siguientes características y pueden ser utilizados en el sistema hidráulico:

Tabla 7.20 Fluidos para el sistema hidráulico

Serie	Nuto H 46	Exxtrans 10W, 20, 50	Humble hydraulic H 46	Firex HF-C 46
Viscosidad (cSt) a 40 °C	46	42	44.5	41.5

Con base a sus características de trabajo en comparación con los otros aceites, además de recomendaciones y accesibilidad comercial, el aceite Nuto H 46 de Exxon Mobil, será utilizado en el banco.

7.6 CÁLCULO DEL TANQUE

En un sistema hidráulico, el tanque es encargado de llevar las siguientes funciones:

- Almacenar el fluido
- Separar el aire
- Disipar el calor
- Asentar los contaminantes

Se recomienda que el volumen del fluido en el depósito sea de 3 a 5 veces el caudal entregado por la bomba más un 10% de colchón de aire, y se expresa:

$$V = 3 \cdot Q \cdot 1.1 \quad (22)$$

donde

V = Volumen del depósito en galones o litros

Q = Caudal de la bomba (GPM o LPM)

Así, para el sistema N° 1:

$$V = 3 \cdot (7.55 \text{GPM}) \cdot 1.1$$
$$V = 24.915 \text{gal} = 5755.365 \text{in}^3$$

Para el sistema N° 2:

$$V = 3 \cdot (5.65 \text{GPM}) \cdot 1.1$$
$$V = 18.645 \text{gal} = 4306.995 \text{in}^3$$

El volumen escogido dependerá del espacio disponible y para el diseño se empleará un tanque en forma de cubo con las siguientes dimensiones:

Tabla 7.21 Depósitos del sistema hidráulico

Sistema	1	2
Largo	20 in.	20 in.
Ancho	12 in.	12 in.
Altura	25 in.	18 in.
Volumen	6000 in. ³	4320 in. ³

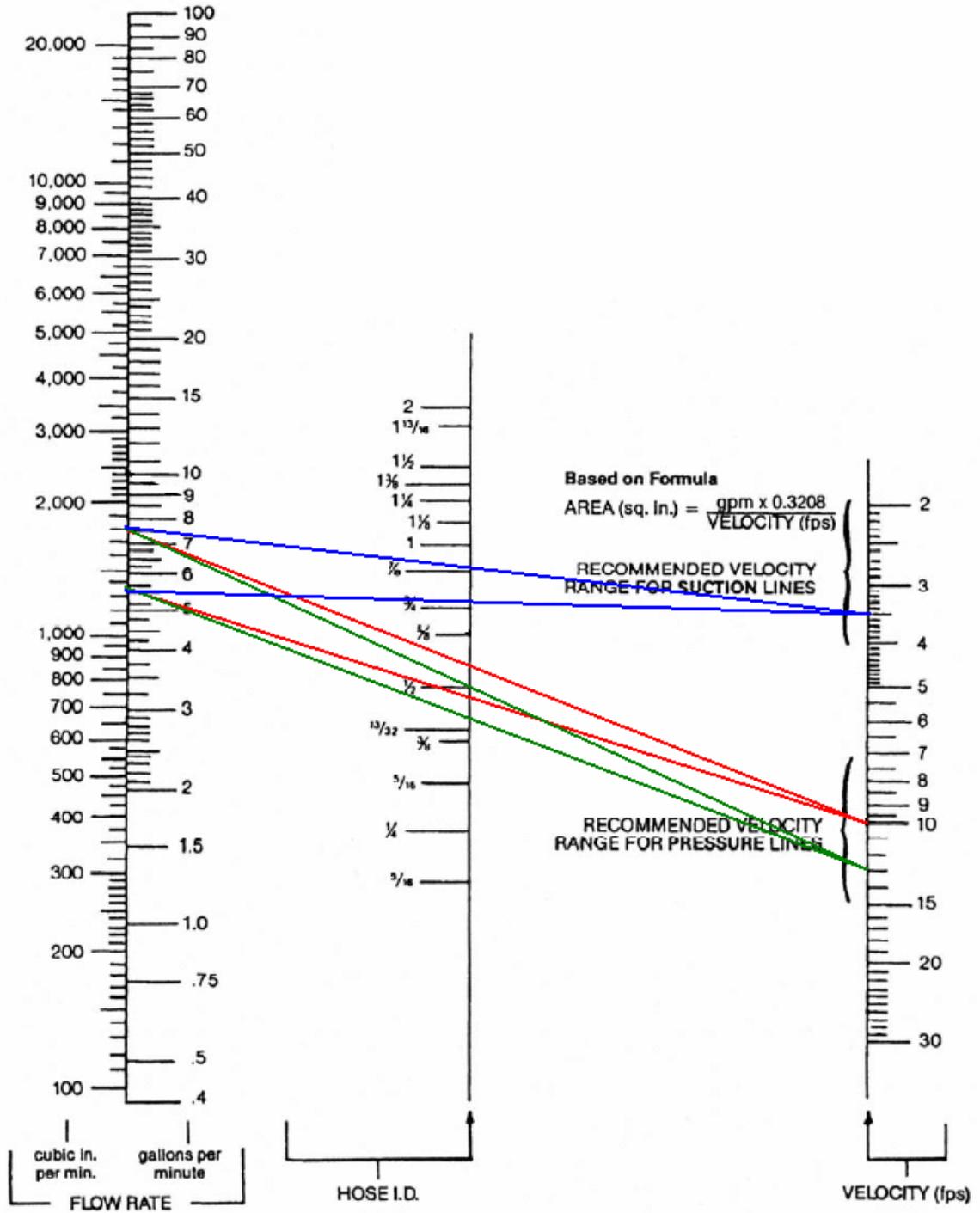
Los tanques pueden ser fabricados en lámina de acero laminada en caliente, calibre 14 (0.078" de espesor) disponible comercialmente. Cada tanque adicionalmente debe tener cinco (5) puertos para el acople de las líneas de succión, puerto de drenado de la bomba, retorno, puerto de llenado de aceite, puerto de drenaje, etc. El proceso de construcción de los tanques se encuentra en el capítulo 8 y las dimensiones en el anexo 1 "planos de ingeniería".

7.7 CÁLCULO DE TUBERÍAS Y MANGUERAS

El tamaño de la tubería depende de:

- Presión máxima del sistema
- Caudal máximo
- Longitud del sistema de tubería
- Condiciones ambientales

Figura 7.8 Nomograma para la elección del diámetro en las líneas.



La caída de presión debe ser la menor posible, es importante evitar los conectores roscados con algún tipo de ángulo. Si existe algún cambio de sección (incremento o disminución del diámetro) debe ser tomado en cuenta así como las longitudes considerables o velocidades altas del fluido. Por otro lado, es muy importante dentro del cálculo, tener en cuenta la generación de cavitación (presencia de ruido), generación de calor, caídas de presión y en algunos casos explosión.

Para el cálculo de las tuberías, se utiliza un “nomograma”, proporcionado por el fabricante, donde conocido el caudal y la velocidad en las líneas de succión, presión y drenaje indica la sección de forma sencilla y precisa. Las velocidades recomendadas para las diferentes secciones del sistema hidráulico son:

Tabla 7.22 Clasificación de líneas hidráulicas respecto a velocidad

Líneas de Succión	2 – 4 ft/s
Líneas de Presión	4 – 13 ft/s
Líneas de Retorno	7 – 18 ft/s

Para la línea de succión se tendrá como patrón 3.5 ft/s, para las líneas de presión al manejar un caudal alto se mantendrá en 10 ft/s y las líneas de retorno en 15 ft/s. De acuerdo al nomograma proporcionado las líneas del sistema hidráulico tienen las siguientes características:

Tabla 7.23 Diámetros de la tubería del sistema

Sistema Hidráulico	Nº 1 (in.)	Nº 2 (in.)
Succión (azul)	1"	$\frac{3}{4}$ "
Presión (rojo)	$\frac{5}{8}$ "	$\frac{1}{2}$ "
Retorno (verde)	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{1}{2}$ "

El sistema hidráulico manejará dos (2) tipos de tubería. Las líneas que conectan los componentes que generan fallos son hechos en tubería rígida. La línea de succión, líneas de presión que se conectan a los actuadores y líneas de retorno, utilizarán tubería flexible.

7.7.1 Tubería Rígida. El sistema utiliza tubería rígida en los tramos donde no se requieren conexiones rápidas o construcción del circuito, como lo es la línea desde la bomba hasta el manifold³⁰ principal que deriva la presión hacia los actuadores y la conexión entre las válvulas solenoides que generan los fallos.

La tubería se elige con base al diámetro especificado y la presión de trabajo del sistema.

La presión de trabajo se calcula:

$$WP = \frac{P}{SF} \quad (23)$$

donde:

P = presión de explosión

SF = factor de seguridad de diseño (se elige 3 como valor recomendado)

La presión de explosión se calcula, según la ecuación de Barlow:

$$P = \frac{2 \cdot T \cdot S}{D} \quad (24)$$

donde:

T = Espesor nominal de la tubería en pulgadas.

S = esfuerzo último a tensión mínimo del material de la tubería.

D = diámetro exterior nominal de la tubería en pulgadas.

Como el diámetro interno es calculado por condiciones del fluido como caudal y velocidad, el diámetro exterior tener un espesor que soporte la presión de acuerdo al material. Para escoger la tubería se tienen los siguientes valores:

S = (340.000 N/mm² min.) 49.000 psi de acuerdo al fabricante PARKER, para tubería en acero.

D = diámetros internos 1" (succión), 5/8" (presión), 1/2" (retorno), para el sistema N° 1; 3/4" (succión), 1/2" (presión), 1/2" (retorno), para el sistema N° 2. Mas el espesor.

³⁰ "Manifold" (múltiple, tubería, en español), sistema de pasajes al cual se le pueden acoplar varios elementos, formando así un conjunto o subconjunto de trabajo. El manifold hidráulico funciona como punto de entrega o reparto de presión hidráulica hacia actuadores y componentes.

³¹ Catalogue HydraulicSupermarket.com 2000 – 2003, Pressure rating of hydraulic tubing.

T = 1, 1.5 y 2.5 mm de espesor.

El fabricante PARKER, ofrece tuberías rígidas en acero y con base a los valores calculados se escoge la tubería más aproximada.

Tabla 7.24 Tubería rígida del sistema

Sistema N° 1	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Espesor (mm)	WP (bar)	P (bar)	P/N
Succión	28	23	2.5	252	770	R28x2.5
Presión	18	16	1	157	510	R18x1
Retorno	15	13	1	188	590	R15x1
Sistema N° 2	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Espesor (mm)	WP (bar)	P (bar)	P/N
Succión	22	19	1.5	192	590	R22x1.5
Presión	15	13	1	188	590	R15x1
Retorno	15	13	1	188	590	R15x1

7.7.2 Tubería flexible. La tubería flexible es obligatoria para hacer las conexiones desde los manifolds de las válvulas a los cilindros. En estas líneas debe tenerse en cuenta los diámetros calculados para el sistema N° 1 y N° 2, la presión de trabajo del sistema o que exceda el valor máximo y el tipo de fluido que va a circular por ellas. Con estos aspectos, el fabricante PARKER ofrece una línea de mangueras tipo industrial por el que se escogerán mangueras con las siguientes características:

➤ Líneas de Presión:

Serie: AX hydraulic.

Aplicación: fluidos hidráulicos y aceites lubricantes a base de petróleo.

Tubo interior: caucho sintético.

Cubierta: Caucho sintético.

Rango de temperatura: -40° F a +212° F (-40° C a +100° C)

Conectores: Serie HY

Tabla 7.25 Tubería flexible

Parte numero	Diámetro interno In. (mm.)	Diámetro externo In. (mm.)	Presión de trabajo Psi (Mpa)	Radio mínimo de doblado in. (mm)
426-8	½" (12.5)	0.75" (19)	2500 (17.5)	3 ½" (90)
426-10	⅝" (16)	0.88" (22)	1500 (10.5)	4" (100)

7.8 CÁLCULO DEL FRENO DE DISCO

El freno de rotor principal, es un sistema utilizado tan solo únicamente al apagar el motor del helicóptero; no cumple una función principal como lo hacen los servoactuadores. Para el banco, se propone un diseño pequeño y simple, con el fin de simular un freno de disco como se encuentra instalado en el helicóptero. Cabe anotar que no está dentro de las funciones principales del sistema, por lo tanto, el numeral 7.8, presenta su diseño donde una carga es detenida por un freno de disco, que recibe potencia del sistema N° 2.

NOTA: Los planos de construcción no detallan la montura del freno, debido a que en el mercado local se requiere ordenar a fábrica un disco con las dimensiones calculadas y a este se debe incorporar una mordaza que se ajuste al disco. Las demás características están indicadas a continuación.

Para simular el freno del rotor principal del helicóptero, se requiere tener un motor eléctrico que genere una velocidad angular y una carga con un determinado torque, pero además se debe contar con un sistema de embrague y freno para evitar daños en los componentes. En la especificación para el diseño de embragues y frenos, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Torque necesario para acelerar y desacelerar el sistema.
- Tiempo necesario para lograr el cambio de velocidad.
- Cantidad de ciclos (número de ciclos de encendido y apagado por unidad de tiempo).
- Inercia de piezas que giran.
- Entorno del sistema (temperatura, efectos de enfriamiento, etc.)

- Capacidad para disipar la energía del embrague o del freno.
- Tamaño físico y configuración.
- Medios para la actuación.
- Vida útil y confiabilidad del sistema.
- Costo y disponibilidad.

Dadas estas condiciones, el diseño de la carga parte con las siguientes condiciones:

Tabla 7.26 Carga para simular el freno de disco

Velocidad Angular	1000 RPM
Disco de acero	$D_1 = 10''$, $D_2 = 1''$, $L = 2''$
Material	Hierro colado
Densidad hierro colado	$0.260 \text{ lb}\cdot\text{in}^3$

Con base a un disco en acero que simulará la carga del rotor, y presenta las anteriores dimensiones, se calcula la “inercia de carga (Wk^2)”. Utilizando la ecuación para un disco hueco, se calcula:

$$Wk^2 = 0.000681 \cdot \rho \cdot L \cdot (D_2^4 - D_1^4) \quad ^{32} \quad (25)$$

donde:

D_1 = Diámetro exterior (pulg.)

D_2 = Diámetro interior (pulg.)

L = Ancho del disco (pulg.)

ρ = densidad del material del disco ($\text{lb}\cdot\text{ft}^3$)

Wk^2 = Inercia total que es detenida ($\text{lb}\cdot\text{ft}^2$)

La inercia de carga para el disco es de **3.5408 lb·ft²**.

El torque de frenado T_B se calcula, teniendo en cuenta que la carga se detendrá en 3 segundos aproximadamente debido a que esta es pequeña para la aplicación de un freno de disco:

³² Mechanical and Pneumatic overload centrifugal clutches Catalogue, Boston Gear, pp. 90.

$$T_B = \frac{Wk^2 \cdot RPM}{308 \cdot t} \quad 33 \quad (26)$$

El torque necesario para que la carga sea detenida en 3 segundos debe de ser de **3.8320 lb·ft ≈ 45.9844 lb·in.**

Para el torque calculado que simulará las condiciones, se debe diseñar un freno de disco que se energice con potencia hidráulica del sistema principal. El sistema N° 2 tendrá una derivación y por medio de una válvula reductora de presión, ésta caerá hasta un valor de trabajo para el freno que oscila entre 50 – 150 psi.

Para el cálculo de un freno de disco, existen dos hipótesis: donde la presión se distribuye uniformemente en el disco y donde el desgaste de la superficie es uniforme. Acogiéndose a la hipótesis del desgaste uniforme por ser más aproximada a la realidad, se utilizará de la siguiente forma:

Asumiendo valores iniciales para el cálculo, como el diámetro del disco mínimo para acoplarse a una mordaza de freno de disco estándar disponible comercialmente, zapatas o pastillas de freno, etc.

Tabla 7.27 Valores iniciales para el cálculo del freno de disco

Número de Zapatas	2
Presión	100 psi
Diámetro Exterior	6"
Diámetro Interior	5"
Velocidad de comienzo	1000 rpm
Velocidad de parada	0 rpm
Torque de frenado	45.9844 lb·in
Angulo de la zapata	45°
Coficiente de fricción del material (hierro colado, acero)	0.2

La fuerza requerida para aplicarse a una zapata:

³³ Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Control del movimiento: Embragues y Frenos, Ecuación 16-3, pp. 251.

$$F_n = 2\pi \cdot p_{\max} \cdot r_i \cdot (r_o - r_i) \quad 34 \quad (27)$$

$$F_n = \frac{45}{360} \cdot 2\pi \cdot 100 \text{ psi} \cdot 6'' (6'' - 5'') = 471.2389 \text{ lb}$$

El torque que ejercen las zapatas:

$$T = \mu \cdot F_n \cdot r_{prom} \quad 35 \quad (28)$$

$$T = 0.2 \cdot (650.7146 \text{ lb}) \cdot \frac{(5'' + 6.3125'')}{2} = 518.3627 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

El torque que ejercen ambas zapatas a 45° es de **518.3627 in·lb ≈ 43.1968 ft·lb**, asegurando que la carga se detiene con toda seguridad.

Para la montura del disco, se puede acoplar por medio de chaveta. En el momento de fabricación del disco, éste debe hacerse con cubo e incorporarse en el eje.

El motor que se encargará de mover la carga tiene las siguientes características:

Tabla 7.28 Características del motor para el freno

Fabricante	SIEMENS
Modelo	1LA7 090-6YA10
Potencia nominal	1.0 HP (0.75 kW)
Número de Fases	3
Velocidad nominal	915 RPM
Velocidad sincrónica	1000 RPM
Torque nominal	7.82 N·m (69.2 in·lb)

Para evitar que el motor sufra daños por efecto del freno, debe acoplarse al eje un sistema de embrague de sobrecarga, para que en el momento cuando se accione el freno y el torque alcance un valor previamente ajustado en el embrague, deje libre el eje y detenga la carga, mientras el motor continúa su funcionamiento. El embrague para esta aplicación es tipo mecánico de sobrecarga. En la elección del embrague, el proceso se hace de la siguiente forma:

³⁴ M. F. Spolts, T.E. Shoup., 1992, Elementos de Máquinas, (7ª Edición), Bandas, embragues, frenos y cadenas, Ecuación 6, pp. 337.

³⁵ M. F. Spolts, T.E. Shoup., 1992, Elementos de Máquinas, (7ª Edición), Bandas, embragues, frenos y cadenas, Ecuación 7, pp. 337.

- a. Identificar que factor de servicio³⁶ adecuado para la aplicación de acuerdo al catálogo del fabricante. Para ejes en línea con carga uniforme, se puede escoger **SF = 1.25**.
- b. Calcular el torque requerido para la aplicación utilizando la formula:

$$T_c = \frac{HP \cdot 63025}{RPM} \cdot SF = \frac{1.0 \cdot 63025}{1000} \cdot 1.25 = 78.78125 lb.in \quad (29)$$

donde:

HP = Potencia en HP (el motor proporciona 1.0 HP)

RPM = Velocidad del eje del embrague o freno

T_c = Torque del embrague (lb·in)

SF = Factor de servicio.

- c. Determinar el diámetro del eje y la localización del embrague:

El embrague debe estar localizado lo mas cerca posible de la fuente de sobrecarga. Como es el caso, es necesario ubicarlo en la salida del motor, debido a que funcionará como separador de ejes. El motor tiene un diámetro en el eje de 24 mm.

- d. Determinar el modelo del elemento que mejor se acomoda a la aplicación:

Con base en la aplicación, el embrague escogido tiene las siguientes características (ver catálogo en anexo 2):

Tabla 7.29 Características del embrague

Fabricante	BOSTON GEAR
Descripción	TRIG-O-MATIC OVERLOAD CLUTCHES
Numero de parte	ORC 1 SA C – L P16
Modelo	Standard S
Código de torque	L
Tamaño	1
Diámetro máx. del eje	0.8750"
Rango de torque (lb·in)	(Min. – máx.) 35 – 100

³⁶ Para elegir el factor de servicio basado en las aplicaciones propuestas por el fabricante, referirse a la página 86 del catálogo "Mechanical and Pneumatic overload centrifugal clutches", anexo 2.

7.8.1 Cálculo del Eje. Para soportar la carga de prueba, se debe diseñar un eje donde se acople el embrague al motor eléctrico. El eje tendrá construcción sencilla de una sola sección circular. Para ello se calculará el diámetro mínimo que soporte las cargas asumiendo los siguientes valores:

Tabla 7.30 Valores iniciales para el cálculo del eje

Material	Acero 1040 extruido en frío
Longitud	14"
Número de soportes	2
Factor de seguridad (N)	3
Resistencia última (S_y)	71000 psi
Masa del disco (carga)	40.306 lb.
Número de cuñas	2 (disco de carga, disco del freno)
Factor de confiabilidad ³⁷	0.9
Valor de diseño ³⁸ (cuñas) K_t	2.0
Factor de tamaño C_s	0.8789 (para diám. de 2")
Resistencia por durabilidad modificada (S_n) ³⁹	30000 psi

Con base en este criterio, y por razones de espacio del banco, el eje debe ser pequeño y soportar las cargas como el toque generado y el peso del disco de carga o disco de prueba. El acero 1040, presenta un contenido de carbono de 0.40%, y es utilizado en elementos de maquinas y motores, además de adquirirse con facilidad en el mercado local. El eje debe acoplarse de su lado izquierdo al embrague con el motor; en su parte central llevar instalado por medio de cuña tipo perfil el disco de carga y en el lado derecho acoplar con chaveta en una cuña de corredera el disco del freno. De acuerdo a las dimensiones de los componentes y la situación de los soportes, el eje tendrá 14 pulgadas de longitud y como soportes, dos rodamientos de bola que están diseñados para transmitir cargas

³⁷ Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Diseño de flechas o ejes, Factor de confiabilidad, pp. 298.

³⁸ Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Diseño de flechas o ejes, Cuñeros, pp. 293.

³⁹ Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Factores que afectan la resistencia por durabilidad, Figura 5-9, pp. 145. Depende del material.

radiales y axiales a su vez. Para las condiciones de trabajo del eje, que se acomodan a tipo industrial donde las cargas no presentan choques y tampoco son demasiado suaves, se determina un factor de seguridad de 3. El eje se diseña bajo una confiabilidad del 90%.

Como las cargas no son tan grandes, se escoge un factor de tamaño del eje, considerando que éste tendrá un diámetro que no sobrepase 2 pulgadas. Este factor de tamaño se calcula con la ecuación:

$$C_s = \left(\frac{D}{0.3}\right)^{-0.068} \quad 40 \quad (30)$$

Para calcular el diámetro mínimo que debe tener el eje, debe realizarse los diagramas de fuerza cortante, momento flector y torques, para estimar los valores máximos sobre el eje. El diámetro mínimo se calcula:

$$D = \left[\frac{32 \cdot N}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{K_t \cdot M}{S' n}\right)^2 + \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{T}{S_y}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad 41 \quad (31)$$

De acuerdo a la geometría del eje y las cargas presentadas, los diagramas de cargas son los siguientes (ver figura 7.11).

Con la ecuación anterior se calcula el diámetro mínimo del eje, con base a las cargas y consideraciones de diseño, el diámetro mínimo es de **0.5404** pulgadas.

La restricción principal del eje es que soporte las cargas y tenga un diámetro que se acople sin ningún problema al embrague. El cubo del disco de freno, se acoplará con chaveta al eje de la misma manera que el disco de carga. Con estas deducciones el diámetro del eje se puede redondear a un valor cercano de **0.75** pulgadas para su acople y su maquinado. Con este diámetro se eligen rodamientos rígidos de bola (SKF) para los soportes con diámetro interior de 0.75"

⁴⁰ Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Diseño de flechas o ejes, Factor de tamaño, pp. 297.

⁴¹ Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición), Diseño de flechas o ejes, Ec. 9-2, pp. 297.

Figura 7.9 Gráfica de carga, corte, momento y torque

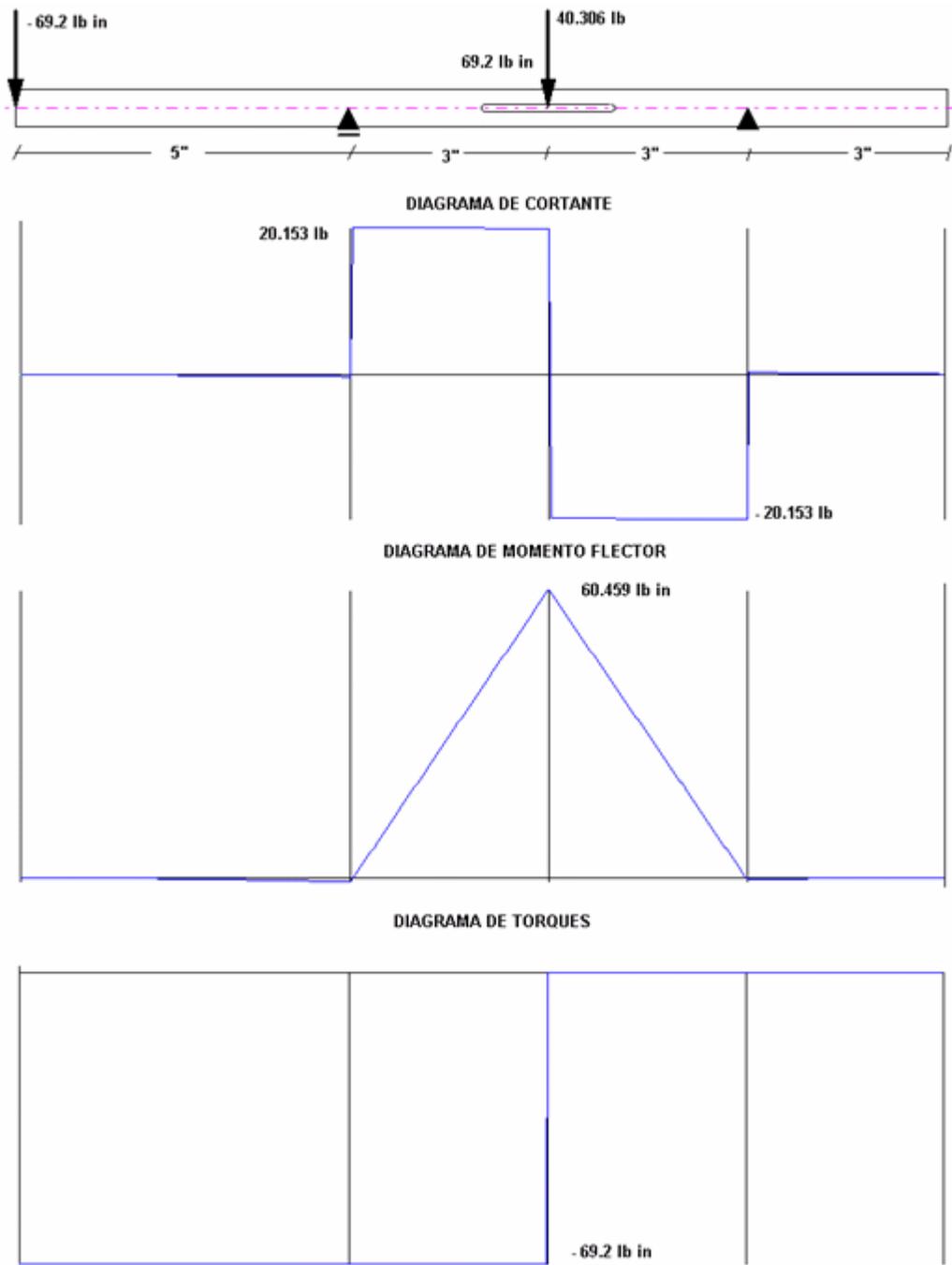


Tabla 7.31 Resumen diseño del eje

Material	Acero 1040 extruido en frío
Longitud	14"
Momento flector máx.	60.459 lb·in
Torque máximo	69.2 lb·in
Diámetro	$\frac{3}{4}$"

7.9 SELECCIÓN DE VÁLVULAS Y COMPONENTES

Para el sistema hidráulico se requieren distintos tipos de válvulas y componentes para desempeñar las operaciones principales y funciones en la simulación de fallos. Los componentes requeridos son los siguientes:

- Válvulas direccionales (solenoides y manual)
- Sistema de control proporcional (válvula, tarjeta o amplificador, joystick).
- Válvulas de alivio de presión
- Válvulas reductoras de presión
- Válvulas reguladoras de caudal
- Válvulas cheque
- Sensores de presión
- Instrumentos de medición (manómetros y medidores de caudal)

Las válvulas anteriores serán seleccionadas de acuerdo a los fabricantes EATON y PARKER. Para información adicional ver anexo 2 donde se encuentran los catálogos del fabricante.

7.9.1 Válvulas Direccionales Controladas por Solenoide. El sistema requiere de cuatro (4) tipos de válvula direccional accionada por solenoide. Estas válvulas son tipo cartucho⁴², y se caracteriza por la inserción del conjunto solenoide y spool en una carcasa que se selecciona dependiendo del tamaño y modelo. La válvula de accionamiento manual es utilizada en el freno.

⁴² Ver anexo 2, catálogos de válvulas solenoide.

Tabla 7.32 Válvula 2/2 – N/A de control por solenoide y muelle de recuperación

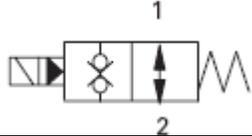
Símbolo	
Fabricante	EATON
Modelo	SBV11-8-O
Presión máx.	350 bar (5000 psi)
Caudal máx.	60 L/min. (15 Usgpm)
Carcaza	C-8-2
Material de carcaza	Aluminio
Cantidad	7

Tabla 7.33 Válvula 2/2 – N/C de control por solenoide y muelle de recuperación

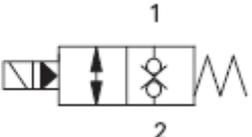
Símbolo	
Fabricante	EATON
Modelo	SBV11-8-C
Presión máx.	350 bar (5000 psi)
Caudal máx.	60 L/min. (15 Usgpm)
Carcaza	C-8-2
Material de carcaza	Aluminio
Cantidad	10

Tabla 7.34 Válvula 3/2 – N/A de control por solenoide y muelle de recuperación

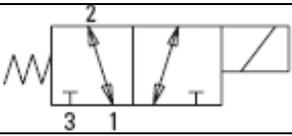
Símbolo	
Fabricante	EATON
Modelo	SV4A-12-3
Presión máx.	210 bar (3000 psi)
Caudal máx.	34 L/min. (9 Usgpm)
Carcaza	C-12-3
Material de carcaza	Aluminio
Cantidad	5

Tabla 7.35 Válvula 4/2 – N/A de control por solenoide y muelle de recuperación

Símbolo	
Fabricante	EATON
Modelo	SV3A-12-4
Presión máx.	210 bar (3000 psi)
Caudal máx.	46 L/min. (12 Usgpm)
Carcaza	C-12-4
Material de carcaza	Aluminio
Cantidad	6

Tabla 7.36 Válvula 3/2 – N/A de control manual y muelle de recuperación

Símbolo	
Fabricante	EATON
Modelo	SV4A-12-3
Presión máx.	210 bar (3000 psi)
Caudal máx.	34 L/min. (9 Usgpm)
Carcaza	C-12-3
Material de carcaza	Aluminio
Cantidad	5

7.9.2 Sistema de Control Proporcional. El control proporcional incluye las válvulas direccionales sin retroalimentación del spool, tarjetas y sistema de control.

Tabla 7.37 Sistema de control proporcional

Válvula Direccional Proporcional	
Símbolo	
Válvula proporcional	4/3, Centro cerrado
Regulación	Meter-in/meter-out sin retroalimentación del spool
Fabricante	EATON
Serie	KBDG4V-3
Código del spool	2C07N
Rango de presiones	P, A, B 350 bar (5000 psi)
	T 210 bar (3000 psi)

Caudal nominal	7 L/min (1.85 USgpm)
Cantidad	7
Amplificadores	
Descripción	Amplificador de potencia con módulos PID
Compatible con Válvula proporcional	KBDG4V-3
Fabricante	EATON
Modelo	EEA-PAM-523-D32
Voltaje suministro	24 Vdc
Rango de entradas	± 10 Vdc
Cantidad	7
Joystic	
Descripción	Ultronics Joysticks
Fabricante	EATON
Modelos demandados	JDA0AA-000CAN-01000-99 JDA0CA-000CAN-01000-99
Voltaje de entrada	Min. 6.5 V Típico 12 V Máx. 30 V
Corriente de entrada	Típico 80 mA Máx. 300 mA
Ejes de operación	X, Y, Z
Cantidad	3

7.9.3 Válvulas Cheque

El sistema hidráulico requiere válvulas cheque para evitar el flujo reverso en el sistema. La válvula escogida presenta las características:

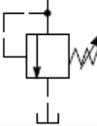
Tabla 7.38 Válvula cheque

Símbolo	
Fabricante	PARKER
Modelo	C600
Material	Acero
Presión máx.	345 bar (5000 psi)
Caudal máx.	30 L/min (8 USgpm)
Cantidad	2

7.9.4 Válvulas de Alivio de Presión

La válvula escogida tiene las siguientes características:

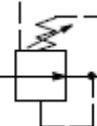
Tabla 7.39 Válvula de alivio

Símbolo	
Fabricante	EATON
Modelo	C175
Presión máx.	210 bar (3000 psi)
Caudal máx.	12 L/min (3.2 USgpm)
Cantidad	4

7.9.5 Válvulas Reductoras de Presión

Para la simulación de fallos, se necesitan dos válvulas reductoras de presión:

Tabla 7.40 Válvula reductora de presión

Símbolo	
Fabricante	EATON
Modelo	XT-03-1F
Presión máx. en puertos	Entrada 210 bar (3000 psi) Drenaje 1.7 bar (25 psi)
Presión máx. ajustable	(70 bar) 1000 psi
Presión mín. ajustable	(10.4 bar) 150 psi
Caudal máx.	53 L/min. (14 USgpm)
Cantidad	2

7.9.6 Válvulas Regulatoras de Caudal

El sistema en su simulación de fallos requiere dos (2) estrangulaciones. La válvula presenta las siguientes características:

Tabla 7.41 Válvula reguladora de caudal

Símbolo	
Fabricante	PARKER
Modelo	N600
Material	Acero
Presión máx.	345 bar (5000 psi)
Caudal máx.	30 L/min (8 USgpm)

7.9.7 Instrumentos de Medición. El sistema requiere tres (3) tipos de instrumentos de medición con las siguientes características:

Tabla 7.42 Manómetro

Símbolo	
Fabricante	EATON
Modelo	GP-3000-30
Tipo	Tubo de Bourdon
Rango de Presión	0 – 205 bar. (0 – 3000 psi)
Montura	Conexión roscada a tubería

Tabla 7.43 Medidor de Caudal

Símbolo	
Fabricante	STAUFF
Modelo	SDM – 750 – A – 060 – T
Tipo	Medidor de flujo (incluye temperatura)
Rango de flujo	3 – 60 L/min.
Presión máx.	420 bar
Puertos	G ¾

Tabla 7.44 Visor de nivel y temperatura para tanque

Símbolo	
Fabricante	STAUFF
Modelo	SNA – 127B – 5 – T – 12 – 60
Tipo	Indicador visual de nivel, con termómetro
Rango de temperatura	-30° C a + 80° C

Presión del tanque	1 bar máx.
--------------------	------------

7.9.8 Manifolds. Los manifolds tienen como función recibir y comunicar una línea de presión o retorno a diferentes elementos. Funcionan como “T” o “+” cruz y están diseñados para montarse en la estructura. El sistema maneja cuatro (4) tipos de manifold y se identifican así:

- Manifold A: Su función es reemplazar una cruz, y recibir la línea de presión proveniente del filtro para distribuirla hacia: el sensor de presión, la válvula de alivio y la válvula solenoide ON/OFF. Cada sistema posee un manifold A, y su diferencia data en el diámetro de sus puertos.
- Manifold B: El manifold B está diseñado para acoplar la línea de presión del sistema 1 o 2 y distribuirla hacia las válvulas proporcionales y acumuladores. El manifold tiene siete (7) puertos, donde 4 utilizan acoples rápidos y son para las válvulas proporcionales, 2 puertos de tubería rígida comunicando la entrada de presión y el acumulador, 1 para conectar el manómetro. Cada sistema posee un manifold B.
- Manifold C: Este manifold está diseñado para cumplir las siguientes funciones: Acoplar las válvulas proporcionales, recibir las entradas de presión por medio de acoples rápidos, conectar las líneas a los actuadores mediante acoples rápidos, comunicar el fluido a las válvulas solenoides que ocasionan fallos simulados, acoplar el manómetro a la línea de conexión con el cilindro. El manifold posee quince (15) puertos donde 6 en la parte posterior comunican el fluido con línea rígida a las válvulas solenoide; 4 puertos con acoples rápidos en la parte frontal para conectar mangueras al puerto de presión de la válvula proporcional, actuadores y retorno; 4 puertos en la parte superior para acoplar la válvula proporcional y 1 puerto para acoplar el manómetro en la línea de presión de los actuadores. El sistema N° 1 maneja 4 manifolds y el sistema N° 2, maneja 3 manifolds.

- Manifold D: El manifold D, actúa como colector de las líneas de retorno provenientes de los manifold C. Tienen conexiones rápidas a las líneas provenientes de las válvulas y conexión rígida hacia el retorno de cada sistema. Tiene 5 puertos de ½”, y cada sistema posee uno de ellos.

7.10 SELECCIÓN DE ACOPLEROS Y CONECTORES

El sistema posee conectores para el respectivo acople con los componentes hidráulicos. Como se calcularon los diámetros requeridos para las líneas del sistema, algunas veces éstos no coinciden con los puertos de los elementos, razón por la cual se deben utilizar acoples y convertidores de diámetros. Para cada elemento se seleccionarán acoples teniendo en cuenta si la línea es rígida como también si se utilizarán mangueras con acoples rápidos. En el sistema también se encuentran los “manifolds”, los cuales permiten comunicar los elementos del sistema más fácilmente disminuyendo el número de acoples tipo “T” y “cruz”. Algunos manifolds son ensamblados con acoples rápidos, principalmente en el tramo de conexión entre válvulas direccionales proporcionales y actuadores. Para la respectiva elección de conectores se debe llevar un orden de los elementos hidráulicos de cada sistema como se muestra a continuación.

7.10.1 Acoples en Tanques

Tabla 7.45 Acoples de tanques

Sistema Hidráulico N° 1			
Puerto	Diámetro línea (in.)	Fabricante	Acople
Succión	1” rígida	PARKER	Bulkhead union 16 WLO Bulkhead locknut 16 WLNL Nut 16 BL Sleeve 16 TL
Retorno	½” rígida	PARKER	Bulkhead union 8 WLO Nut 8 BL Sleeve 8 TL

Sistema Hidráulico N° 2			
Puerto	Diámetro línea (in.)	Fabricante	Acople
Succión	¾" rígida	PARKER	Bulkhead union 12 WLO Bulkhead locknut 12 WLNL Nut 12 BL Sleeve 12 TL
Retorno	½" rígida	PARKER	Bulkhead union 8 WLO Nut 8 BL Sleeve 8 TL

7.10.2 Acoples para las Bombas

Tabla 7.46 Acoples de bombas

Sistema Hidráulico N° 1				
Puerto	Diámetro línea (in.)	Diámetro Puertos	Fabricante	Acople
Entrada	1" rígida	Straight thread 1 1/16-12	PARKER	Straight thread connector 16-12 F50LO Nut 16 BL Sleeve 16 TL
Salida	5/8" rígida	Straight thread 1 1/16-12	PARKER	Straight thread connector 10-12 F50LO Nut 10 BL Sleeve 10 TL
Sistema Hidráulico N° 2				
Puerto	Diámetro línea (in.)	Diámetro Puerto	Fabricante	Acople
Entrada	¾" rígida	SAE 12 straight thread 1 1/16-12	PARKER	Straight thread connector 12 F50LO Nut 12 BL Sleeve 12 TL
Salida	½" rígida	SAE 12 straight thread 1 1/16-12	PARKER	Straight thread connector 8-12 F50LO Nut 8 BL Sleeve 8 TL

7.10.3 Acoples de Válvulas Solenoide 2/2 N/C, 2/2 N/A, 3/2 N/A y 4/2 N/C

Tabla 7.47 Acoples de válvulas solenoide

Sistema N° 1				
Válvula solenoide	Diámetro línea (in.)	Puertos BSP	Fabricante	Acople
2/2 N/C	5/8" rígida	3/8"	PARKER	Swivel nut connector 60° cone 8-6F6MK4 Union 60° cone 10-8 HMK4

2/2 N/A	5/8" rígida	3/8	PARKER	Swivel nut connector 60° cone 8-6F6MK4 Union 60° cone 10-8 HMK4
2/2 N/A (retorno)	1/2" rígida	3/8	PARKER	Union 60° cone 8-6 HMK4
3/2 N/A	5/8" rígida	3/4	PARKER	Union 60° cone 12-10 HMK4
4/2 N/A	5/8" rígida	3/4	PARKER	Union 60° cone 12-10 HMK4
Sistema N° 2				
Válvula solenoide	Diámetro línea (in.)	Puertos BSPP	Fabricante	Acople
2/2 N/C	1/2" rígida	3/8	PARKER	Union 60° cone 8-6 HMK4
2/2 N/A	1/2" rígida	3/8	PARKER	Union 60° cone 8-6 HMK4
2/2 N/A (retorno)	1/2" rígida	3/8	PARKER	Union 60° cone 8-6 HMK4
3/2 N/A	1/2" rígida	3/4	PARKER	Union 60° cone 12-8 HMK4
4/2 N/A	1/2" rígida	3/4	PARKER	Union 60° cone 12-8 HMK4

7.10.4 Acoples para Filtros

Tabla 7.48 Acoples de filtros

Sistema N° 1				
Filtro	Bulkhead / Línea	Puertos	Fabricante	Acople
Succión	1 7/16 - 12	3/4 NPT	PARKER	Tube end Reducer 16-12 TRLON 37° male swivel adapter 8 XHL6
Presión (línea)	5/8" rígida	3/4 NPT	PARKER	Straight thread connector 10 - 8 F50LO Nut 10 BL Sleeve 10 TL
Sistema N° 2				
Succión	1 3/16 - 12	3/4 NPT	PARKER	37° male swivel adapter 8 XHL6
Presión (línea)	1/2" rígida	3/4 NPT	PARKER	Straight thread connector 8 F50LO Nut 8 BL Sleeve 8 TL

7.10.5 Acoples para Válvulas de Alivio. Cada sistema tiene dos válvulas de alivio, para la primera, se requiere un acople en forma de "T" y la restante un acople a tubería rígida.

Tabla 7.49 Acoples de válvulas de alivio

Puerto	Diámetro línea (in.)	Puertos	Fabricante	Acople
Entrada	5/8" rígida	1/4 BSPF	PARKER	Union 60° cone 8 HMK4

Salida	½" rígida	¼ BSPF	PARKER	Union tee 60° cone (all 3 ends) 4 JMK4 BSPF female connector 60° cone 8-4G4MK4
--------	-----------	--------	--------	---

7.10.6 Válvula Reductora de Presión

Tabla 7.50 Acoples de válvula reductora de presión

Puerto	Diámetro línea (in.)	Puertos	Fabricante	Acople
Entrada	⅝" rígida	¼ BSPF	PARKER	Union 60° cone 8 HMK4
Salida	½" rígida	¼ BSPF	PARKER	Union 60° cone 8-6 HMK4

7.10.7 Fluviómetro

Tabla 7.51 Acoples del fluviómetro

Sistema N° 1				
Puerto	Diámetro línea (in.)	Puertos	Fabricante	Acople
Entrada y salida	⅝" rígida	G ¾	PARKER	Union 60° cone 12 – 10 HMK4
Sistema N° 2				
Puerto	Diámetro línea (in.)	Puertos	Fabricante	Acople
Entrada y salida	½" rígida	G ¾	PARKER	Union 60° cone 12 – 8 HMK4

7.10.8 Válvula Reguladora de Caudal

Tabla 7.52 Acoples de la válvula reguladora de caudal

Puerto	Diámetro línea (in.)	Puertos	Fabricante	Acople
Entrada	⅝" rígida	⅜ - 18 NPTF	PARKER	Male pipe connector 8 FLO Nut 8 BL Sleeve 8 TL
Salida	½" rígida	⅜ - 18 NPTF	PARKER	Male pipe connector 8 FLO Nut 8 BL Sleeve 8 TL

7.10.9 Válvula Cheque

Tabla 7.53 Acoples de la válvula cheque

Puerto	Diámetro línea (in.)	Puertos	Fabricante	Acople
Entrada	5/8" rígida	3/8 - 18 NPTF	PARKER	Male pipe connector 8 FLO Nut 8 BL Sleeve 8 TL
Salida	1/2" rígida	3/8 - 18 NPTF	PARKER	Male pipe connector 8 FLO Nut 8 BL Sleeve 8 TL

7.10.10 Acoples Rápidos. El sistema cuenta con acoples rápidos para construir el circuito hidráulico. Son estandarizados a 1/2", conservando el diámetro calculado para las líneas.

Tabla 7.54 Acoples rápidos

Fabricante	PARKER
Serie	60
Tamaño (pulg.)	1/2"
Material	Acero
Presión máxima	4000 psi
Rango de temperatura	-40° a +250°F
Caudal por tamaño	12 gpm
Coupler	
P/N en acero	H4-62
Rosca	1/2 - 14 NTPF
Nipple	
P/N en acero	H4-62
Rosca	1/2 - 14 NTPF

7.10.11 Acoples para Acumuladores. Cada acumulador no requiere ser asilado en la práctica, por lo tanto su conexión es hacia con línea rígida. Requieren los acoples siguientes.

Tabla 7.55 Acoples de acumuladores

Sistema N° 1 y N° 2			
Puerto del acumulador	Diámetro línea (in.)	Fabricante	Acople
3/4 - 16"	5/8"	PARKER	Straight thread connector 10 - 8 F50LO Nut 10 BL Sleeve 10 TL
3/4 - 16"	1/2"	PARKER	Straight thread connector 8 F50LO Nut 8 BL Sleeve 8 TL

7.10.12 Acoples de Manifolds. Cada sistema cuenta con cuatro (4) tipos de manifolds:

- a. Manifold A: entrada desde la válvula solenoide selectora.
- b. Manifold B: alimenta cada válvula proporcional y acumuladores del sistema.
- c. Manifold C: conduce el fluido a los componentes que generan falla, actuadores y líneas de retorno hacia el manifold de retorno.
- d. Manifold D: recibe las líneas de retorno y las dirige al tanque.

Los manifolds llevan acoples rápidos para conectar las tuberías flexibles a los actuadores y válvulas proporcionales. Los acoples rápidos están roscados a los manifolds por medio de conectores de rosca recta.

Tabla 7.56 Acoples de los manifolds

Sistema Hidráulico N° 1						
Manifold	Acople rápido	Diámetro línea (in.)	Puertos Manifold		Acople	
			Rígida	Flex.	Rígida	Flexible
A	1/2 - 14	5/8" rígida / flexible	3/4 - 16	1 - 14	Straight thread connector 10 - 8 F50LO Nut 10 BL Sleeve 10 TL	Male pipe conector 10 FLO
B	1/2 - 14	5/8" flexible	-	1-14	-	Male pipe conector 10 FLO
C	1/2 - 14	5/8" rígida / flexible; 1/2" flexible	3/4 - 16	1-14 13/16 - 16	Straight thread connector 10 - 8 F50LO	**Male pipe conector 10 FLO

		(retorno)			Nut 10 BL Sleeve 10 TL	Male pipe conector 8 - 8 FLO
D	½ - 14	½" rígida / flexible	9/16 - 18	13/16 - 16	Straight thread conector 8-6 F50LO Nut 8 BL Sleeve 8 TL	Male pipe conector 8 - 8 FLO
Sistema Hidráulico N° 2						
Manifold	Acople rápido	Diámetro línea (in.)	Puertos Manifold		Acople	
			Rígida	Flex.	Rígida	Flexible
A	½ - 14	½" rígida / flexible	9/16 - 18	13/16 - 16	Straight thread conector 8-6 F50LO Nut 8 BL Sleeve 8 TL	Male pipe conector 8 - 8 FLO
B	½ - 14	½" flexible	-	13/16 - 16	-	Male pipe conector 8 - 8 FLO
C	½ - 14	½" rígida / flexible	9/16 - 18	13/16 - 16	Straight thread conector 8-6 F50LO Nut 8 BL Sleeve 8 TL	Male pipe conector 8 - 8 FLO
D	½ - 14	½" rígida / flexible	9/16 - 18	13/16 - 16	Straight thread conector 8-6 F50LO Nut 8 BL Sleeve 8 TL	Male pipe conector 8 - 8 FLO

7.10.13 Acoples de Actuadores

Los actuadores deben tener acoples rápidos en los puertos del cilindro.

Tabla 7.57 Acoples de actuadores

Actuadores			
Puerto del actuador	Acople rápido (in.)	Fabricante	Acople
¾"	½ - 14	PARKER	Male conector 6-8 FMK4

7.11 CÁLCULO DE PÉRDIDAS

Las pérdidas en el sistema se calculan de acuerdo a las tuberías y la caída de presión en los componentes hidráulicos. Para el cálculo de las pérdidas se plantean los siguientes parámetros basados en los cálculos anteriores:

Tabla 7.58 Parámetros para el cálculo de pérdidas

Descripción	Sistema 1	Sistema 2
Caudal	1744.05 in ³ /min	1305.15 in ³ /min
Velocidad	2.4065 m/s	2.8140 m/s
Viscosidad cinemática	46 Cst	46 Cst
Viscosidad dinámica	0,040296 m ² /s	0,040296 m ² /s
Densidad	876 Kg/m ³	876 Kg/m ³
Numero de Reynolds	830.5148	776.88
Longitud aprox. línea rígida	1.60 m	1.60 m
Longitud aprox. flexible (para actuadores derechos)	4 m	4 m
Longitud aprox. flexible (para actuador izquierdo)	1 m	-
Diámetro	0.015875 m (0.625")	0.0127 m (0.5")
Área	0.3068 in ²	0.1963 in ²

Dados los parámetros iniciales, las caídas de presión en las tuberías dependen del flujo si es laminar o turbulento. Para estas condiciones, normalmente el flujo es laminar como se deduce por el número de Reynolds en la tabla 7.15.

En el caso de flujo laminar, la caída de presión es independiente de la rugosidad de la tubería y a su vez es proporcional a la longitud de la misma. Para el flujo laminar totalmente desarrollado, el factor de fricción “f” es independiente de la relación “e/D” o rugosidad relativa. El factor de fricción se puede calcular con la siguiente ecuación para la condición del flujo:

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (32)$$

El número de Reynolds, se calcula para el fluido del sistema.

La pérdida de carga entre dos secciones para cualquier flujo estable incompresible y totalmente desarrollado en tubos, sin importar que la tubería sea horizontal o esté inclinada como lo presenta el banco se puede calcular con la ecuación de Darcy-Weisbach:

⁴³ Munson Young Okiishi, 1999, Fundamentos de mecánica de Fluidos, Universidad estatal de Iowa, Análisis Dimensional del Flujo en Tuberías, pp. 477.

$$h_L = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad 44 \quad (33)$$

7.11.1 Pérdidas en el Sistema N° 1

Para cada sistema se considerará la caída de presión en la línea rígida y en la línea flexible más la caída en componentes que se encuentren en cada tramo. Cada componente presenta su tabla de caída de presión en función del caudal (ver catálogos anexo 2).

Para el tramo de las líneas rígida y flexible mas componentes hasta los actuadores derechos e izquierdo la perdida se calcula:

Tabla 7.59 Pérdidas del sistema N° 1

Descripción	Pérdida (psi)
Línea rígida	2.85
Línea flexible	7.14
Caída de presión en válvulas	
V. solenoide 3/2 N/A	65
Filtro de presión	Elemento 0.72 Bypass 150
Cheque	5
V. solenoide 2/2 N/C	70
TOTAL LÍNEA RÍGIDA CON VÁLVULAS	215.72
V. proporcional	232
V. solenoide 4/2 N/A	45
TOTAL HASTA CADA ACTUADOR DERECHO	492.78
TOTAL HASTA ACTUADOR IZQUIERDO	552.42

De la presión entregada por la bomba 1200 psi, la caída de presión por accesorios y tuberías (tramo desde la bomba hasta el manifold de distribución “manifold B”)

⁴⁴ Munson Young Okiishi, 1999, Fundamentos de mecánica de Fluidos, Universidad estatal de Iowa, Análisis Dimensional del Flujo en Tuberías, ecuación 8.34, pp. 477.

es de **215.72 psi**, indicando que el sistema 1 se encuentra trabajando a **984.28 psi**.

Sumando el segundo tramo de conexiones con tubería flexible y accesorios, la caída total de presión es de **492.78 psi**, indicando cada actuador izquierdo (cíclico y colectivo) está trabajando a **707.22 psi**. El actuador derecho (direccional) trabaja a **647.58 psi** aproximadamente debido a las pérdidas de presión.

El sistema presenta la mayor caída de presión debido a la válvula proporcional. De igual forma, el banco está diseñado para simular el funcionamiento y no presenta cargas pesadas que los actuadores deban sujetar.

Dado el caso que se desee tener una presión de 1000 ± 10 psi en los actuadores, la bomba debe ajustarse a 1550 psi aproximadamente, y de acuerdo a la demanda de potencia de entrada a la bomba, realizar el cálculo pertinente a la elección de un motor que suministre un poco mas de potencia que la instalada actualmente.

7.11.2 Pérdidas en el Sistema N° 2

Para el tramo de las líneas rígida y flexible mas componentes hasta los actuadores la perdida se calcula:

Tabla 7.60 Pérdidas del sistema N° 2

Descripción	Pérdida (psi)
Línea rígida	5.22
Línea flexible	13.05
Caída de presión en válvulas	
V. solenoide 3/2 N/A	36
Filtro de presión	Elemento 0.36 Bypass 150
Cheque	5
V. solenoide 2/2 N/C	50
TOTAL LÍNEA RÍGIDA CON VÁLVULAS	145.63
V. proporcional	232
V. solenoide 4/2 N/A	25
TOTAL HASTA CADA ACTUADOR	402.69

De la presión entregada por la bomba 1200 psi, en el primer tramo desde la bomba hasta el manifold de distribución (manifold B), la presión cae **145.63 psi**, indicando que el sistema 2 se encuentra trabajando a **1054.37 psi**.

Sumando el segundo tramo de conexiones con tubería flexible y accesorios, la caída total de presión es de **402.69 psi**, indicando cada actuador (cíclico y colectivo) está trabajando a **797.31 psi** aproximadamente.

Dado el caso que se desee tener una presión de 1000 ± 10 psi en los actuadores, la bomba debe ajustarse a 1450 psi aproximadamente, y de acuerdo a la demanda de potencia de entrada a la bomba, realizar el cálculo pertinente a la elección de un motor que suministre un poco mas de potencia que la instalada actualmente.

7.12 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema requiere un completo control eléctrico de válvulas, motores, sensores, etc, donde se realiza desde un solo punto y es el panel de control del sistema. Desde el panel de control, se opera el sistema en su totalidad, y presta las siguientes funciones:

- Encender y apagar el sistema eléctrico de todo el sistema.
- Controlar el encendido de los motores eléctricos (motor principal y motor del sistema de freno).
- Controlar las válvulas proporcionales por medio de los joysticks.
- Controlar la simulación de fallos mediante los interruptores.

El sistema eléctrico se alimenta de una fuente trifásica por requerimiento de los motores. Para el control de válvulas solenoides, válvulas proporcionales, joysticks, tarjetas o amplificadores (control de válvulas proporcionales) y sensores, demandan un suministro de voltaje DC que se entregará a través de un transformador que obtiene corriente de la fuente trifásica.

El sistema eléctrico se representa gráficamente mediante el circuito de la figura 7.12.

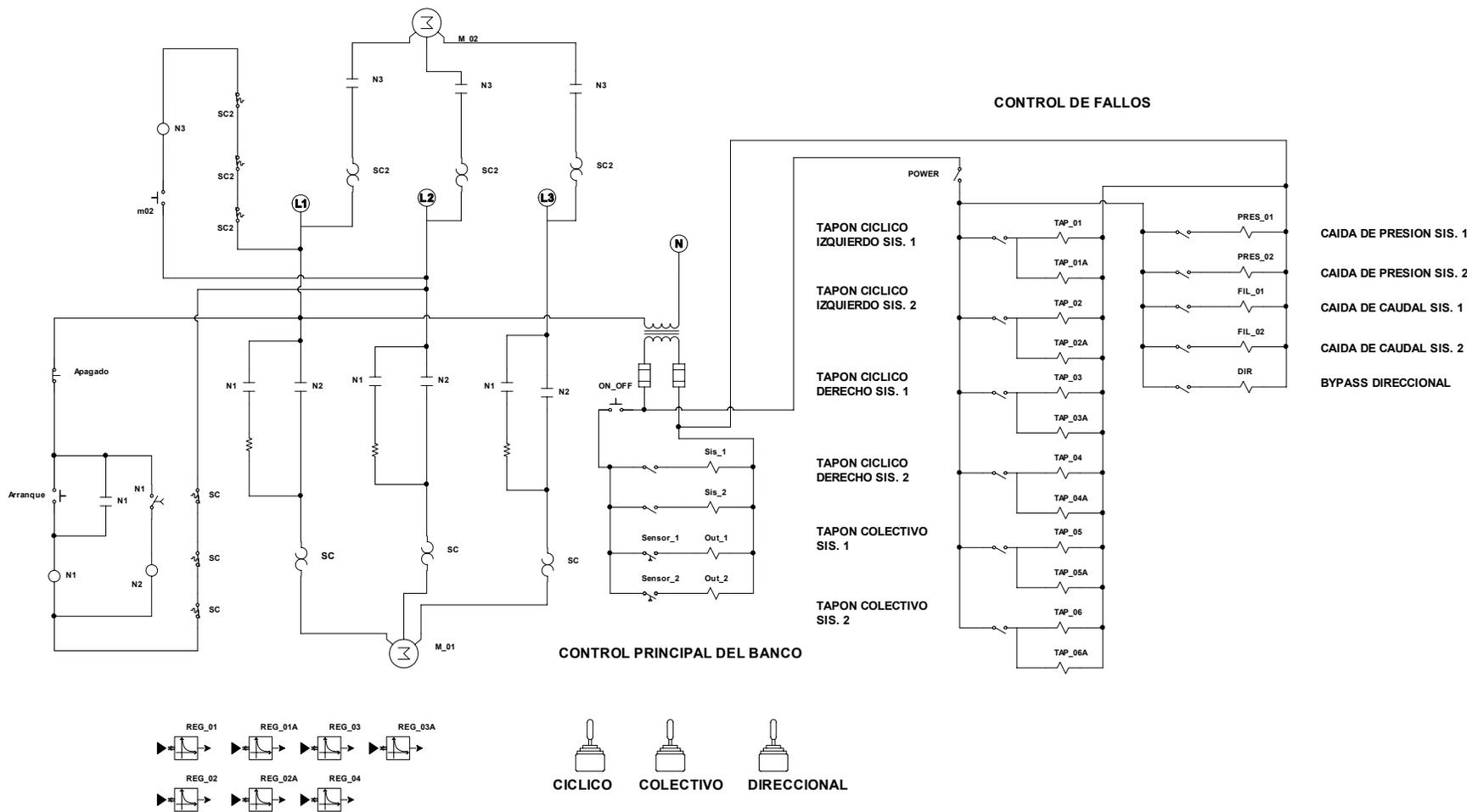
En el sistema se pueden reconocer dos (2) elementos importantes por los cuales se diseñó el circuito como el control y protección de los motores y el transformador a 24V DC para el control de componentes electro-hidráulicos.

7.12.1 Control y Protección para los Motores Eléctricos. El motor eléctrico principal tiene la capacidad de suministrar una potencia de 12 HP para conducir las bombas del sistema hidráulico del banco y es de corriente trifásica, por esta razón este dispositivo requiere de un grado mayor de control.

Para el diseño del circuito de control de este elemento se deben tener en cuenta las siguientes funciones de control:

- Encender y detener el motor.
- Protección contra sobrecargas donde se puede recibir un nivel alto de corriente altamente peligroso.
- Protección contra calentamiento excesivo.
- Protección de los controles contra el ambiente.

Figura 7.10 Circuito eléctrico del sistema



- Evitar incendio o explosión en los controles.
- Proporcionar control de torque, velocidad, aceleración y desaceleración.
- Permitir la operación coordinada de diferentes partes del sistema.
- Protección de los conductores del circuito ramificado del motor.
- Protección del personal para evitar su contacto con partes peligrosas del sistema eléctrico.

Para seleccionar el tipo de control que el motor requiere se debe tener en cuenta:

Tabla 7.61 Tipo de servicio eléctrico

Número de Fases	3
Voltaje nominal (V)	220 / 380 / 440
Frecuencia	60 Hz

Tabla 7.62 Tipo y tamaño del motor

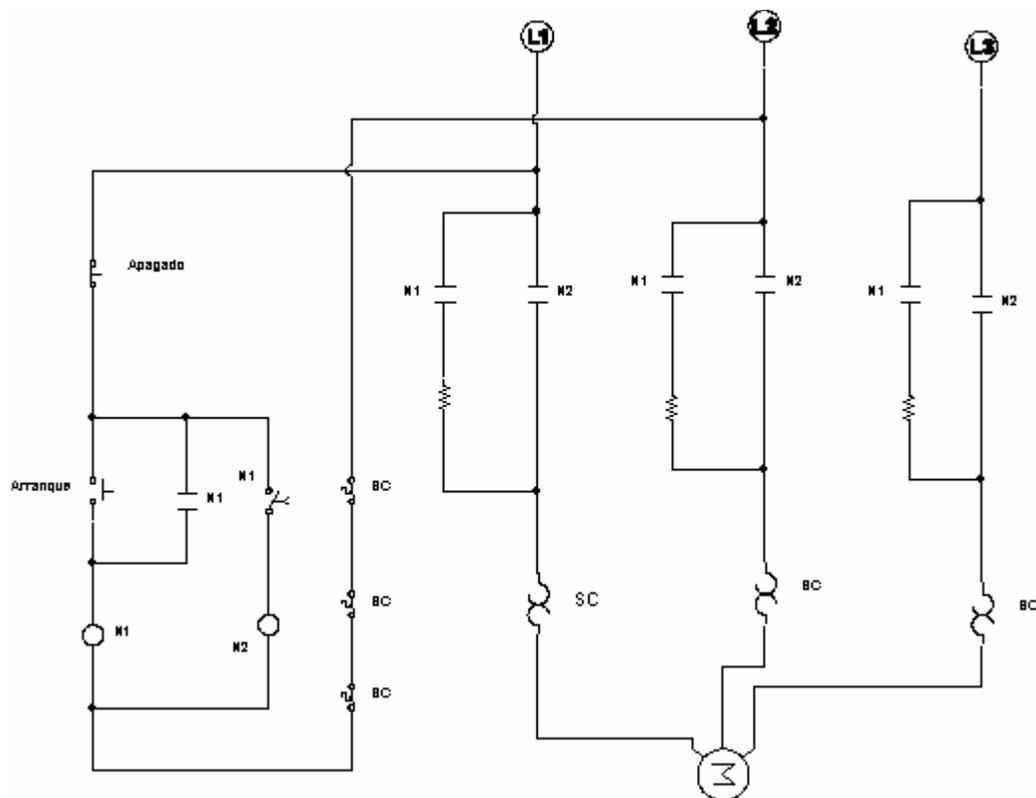
Potencia	12 HP (8.95 kW)
Velocidad Nominal	1750 RPM
Velocidad Sincrónica	1800 RPM
Intensidad nominal (A)	34.00 / 19.63 / 17.00

- Operación: El motor se requiere para un ciclo de trabajo continuo, con velocidad única en el mismo sentido.
- Entorno de trabajo: Un sistema hidráulico a base de aceites y líquidos corrosivos.
- Limitaciones de espacio: El motor está limitado por el espacio destinado por el banco.
- Accesibilidad de controles: Los controles son accesibles en el panel de control del banco.
- Factores de ruido o aspecto: El ruido presentado en el laboratorio de hidráulica por los mismos equipos hidráulicos.

El arranque del motor principal es de voltaje reducido, con el fin de limitar los jalones, controlar la aceleración y restringir la corriente de arranque. Este tipo de

arranque es utilizado principalmente en transportadores, bombas, etc. Para ello la corriente debe pasar a través de resistencias en paralelo, reduciendo así el voltaje en cada terminal del motor en un valor cercano al 65%, la corriente pico en 65% y 42% en el torque de arranque. Cuando el motor se acelera, los contactos se cierran y el voltaje total entra al motor. En los tres cables del motor es necesario protección contra sobrecargas, que están conectados a los interruptores térmicos.

Figura 7.11 Arranque con voltaje reducido del motor principal

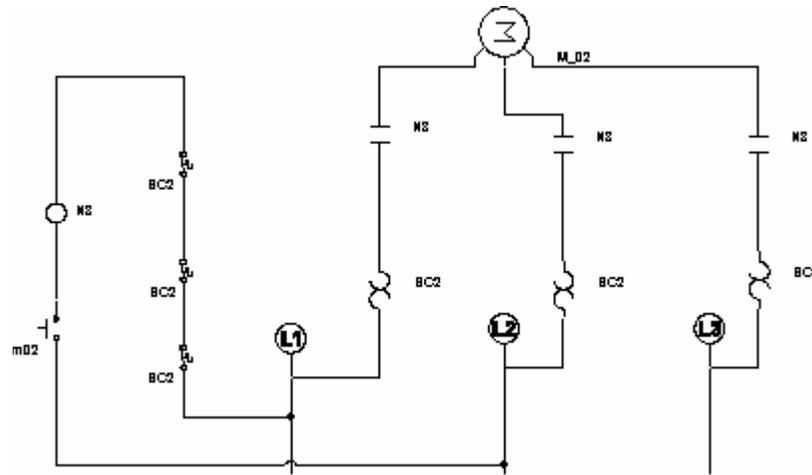


En el funcionamiento se activan primero los contactos "N-1" y luego el temporizador activa los contactos "N-2" y pone en corto las resistencias.

El motor N° 2, que tiene como función mover la carga para simular el sistema de freno de rotor, tiene su encendido en el contacto "m02" y su protección contra cargas (elementos "SC2"). Este motor no necesita arranque con bajo voltaje, debido a que su función no es significativa comparado con el motor N° 1, pues

solo se requiere que mueva la carga hasta una velocidad estable y luego por acción del freno se detenga.

Figura 7.12 Circuito de control del motor N° 2



Para ello, existen comercialmente arrancadores para este tipo de función. SIEMENS presenta una serie de arrancadores con las siguientes características para los motores del sistema:

Tabla 7.63 Características del arrancador

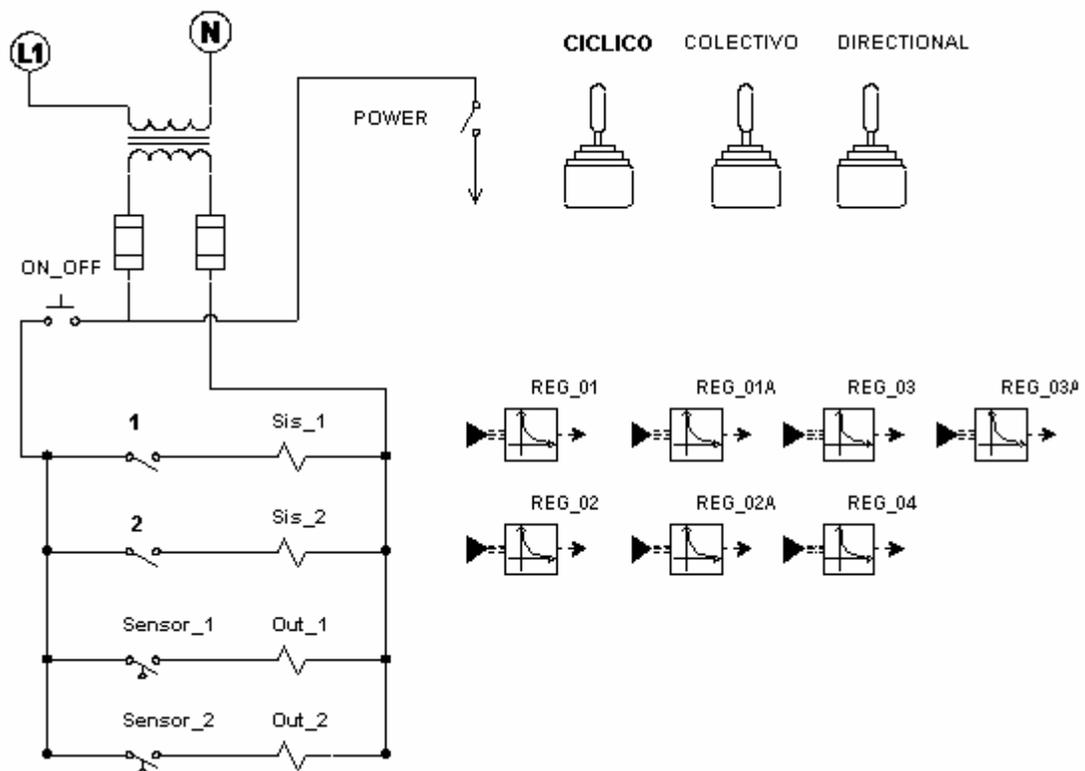
Motores Trifásicos 220V 380V			Tipo	Relé de sobrecarga		Contactor	Fusible
Potencias máx. admisibles en servicio AC2/AC3, en 60 Hz	Corriente nominal (A)	Tamaño	Tensión de comando 220V / 60 Hz, N1 380V / 60 Hz, U1	Tipo 3RU11	Rango de ajuste (A)	Tipo 3RT10	Fusible máximo recomendado (A)
0.75 kW	3.8	S00	3RE1016- 1EA15- 0AN1	16-1EB0	2.8 - 4	15-1AN11	16
7.5 – 9 kW	18.5	S0	3RE1026- 4BA26- 0AU1	26-4BB0	14 - 20	26-1AU10	35

7.12.2 Transformador para el Control Electro-Hidráulico. Los componentes electro-hidráulicos tales como tarjetas, sensores, válvulas solenoides, válvulas proporcionales y joysticks, funcionan a partir de una fuente de voltaje de 24 Vdc. Para ello, se parte de un transformador que de dos líneas de la fuente trifásica convierte el voltaje a 24 Vdc.

Comercialmente, el fabricante de las tarjetas para el control proporcional (EATON), dispone de una unidad de potencia de 24 Vdc y 10 A máximo en salida para la alimentación de las válvulas solenoides.

El accionamiento del sistema de control se hace por medio de pulsadores luminosos de dos posiciones. En la figura 7.15 se encuentra el circuito de mando principal para el control del sistema hidráulico.

Figura 7.13 Circuito de mando principal



Por medio de un pulsador “ON_OFF” se activa la potencia eléctrica al sistema; los interruptores “1” y “2” activan los sistemas hidráulicos N° 1 y N° 2 respectivamente. El interruptor “POWER” en el circuito, activa las válvulas que generan fallas. Desde el momento en que se activa la potencia eléctrica al sistema, los sensores de presión se activan para controlar las válvulas solenoides de retorno y la válvula que controla la entrada de flujo y presión al sistema de freno. Los joysticks, son alimentados con voltaje DC (6.5 – 30 Vdc). Las tarjetas requieren suministro de 24 Vdc.

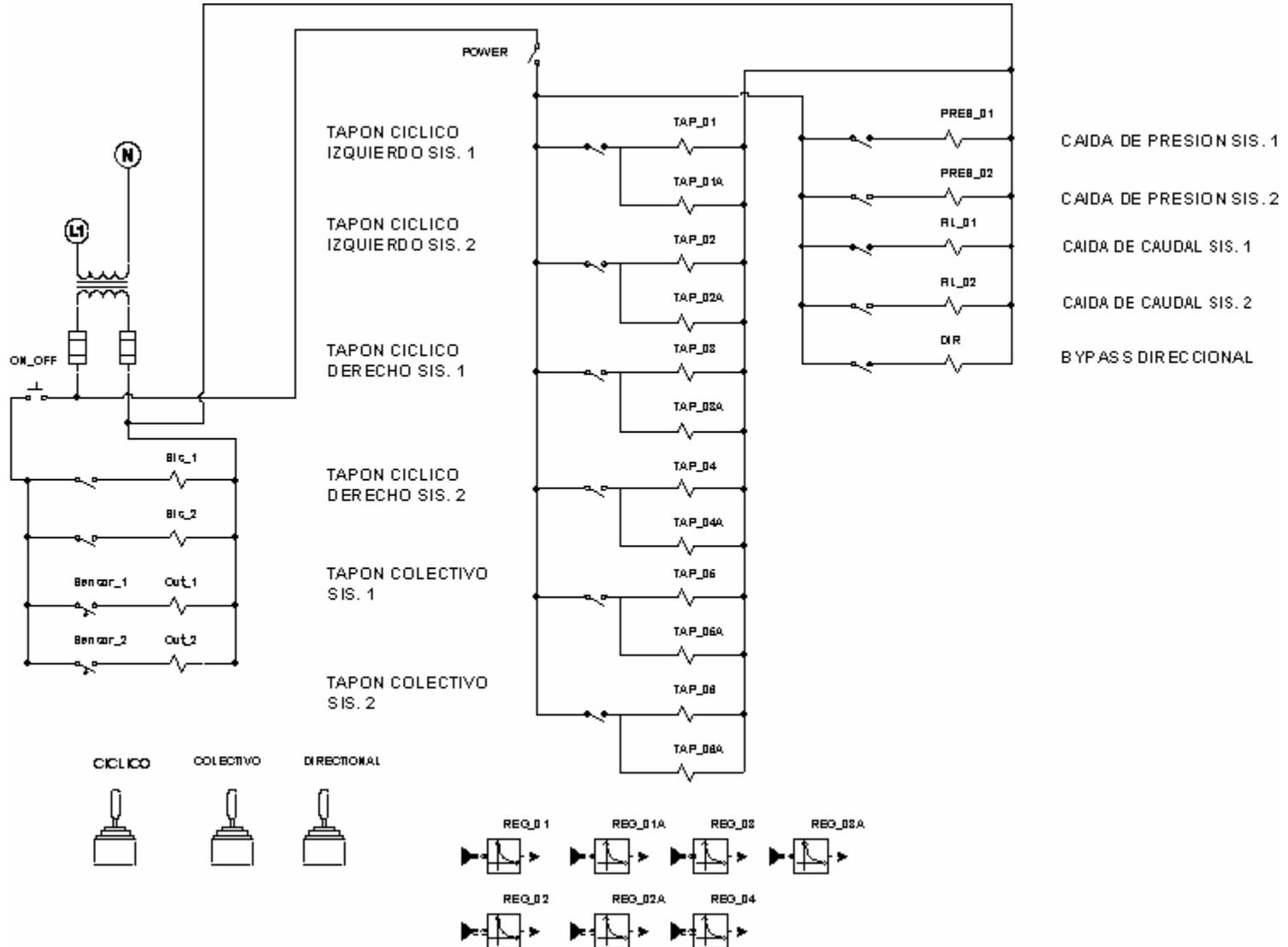
El sistema de fallos se opera mediante pulsadores que activan las válvulas solenoides (ver figura 7.16). Cada solenoide se encuentra identificado con el fallo que se va a simular. Según el circuito hidráulico, al simular los fallos en los actuadores del sistema, todas las válvulas que tienen activada la función deben funcionar al mismo tiempo, por tal razón, el circuito muestra algunos solenoides conectados en paralelo al interruptor que permite la entrada de corriente. Los fallos restantes que poseen un solenoide, se energiza y controla la válvula al pulsar el interruptor.

Para el sistema, se requieren 18 pulsadores de dos posiciones que comercialmente SIEMENS produce. Estos presentan las siguientes características:

Tabla 7.64 Características de los pulsadores

Pulsador	Función	Número segun catálogo	Cantidad
Pulsador SINUM, luminoso, 2 posiciones	Encendido motores 1 y 2	3SB3 0 01-2KA71 (BLANCO)	2
Pulsador SINUM, luminoso, 2 posiciones	Encendido sistema eléctrico y sistema de fallos	3SB3 0 01-2KA51 (AZUL)	2
Pulsador SINUM, luminoso, 2 posiciones	Encendido sistemas 1 y 2	3SB3 0 01-2KA21 (ROJO)	2
Pulsador SINUM, luminoso, rasante	Encender fallos simulados	3SB3 0 01-0AA721 (ROJO)	12
Elementos de conexión	-	1NC 3SB34 00-0C	18

Figura 7.14 Circuito de control Electro-hidráulico



8. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO

El banco cuenta con una estructura principal, que esta formada de cinco (5) subconjuntos principales:

- Conjunto principal
- Conjunto de actuadores
- Conjunto inferior
- Conjunto superior

Las figuras 8.0a, 8.0b, 8.0c, 8.0d y 8.0e muestran el banco desde sus vistas típicas, con ayuda del software Solid Edge V19. El banco tendrá las siguientes dimensiones exteriores:

Tabla 8.0 Dimensiones del Banco

Banco del Sistema Hidráulico	
Descripción	Pulg. (mm)
Largo	106 (2692)
Ancho	37.7 (957)
Alto	58.92 (1497)

8.1 ESTRUCTURA PRINCIPAL

El sistema hidráulico está sostenido por una estructura principal fabricada en tubería mecánica comercial rectangular y cuadrada en acero, que soporte el peso de los componentes y las subestructuras. Tiene como función soportar la subestructura donde van instalados los actuadores; el conjunto superior para el montaje de electroválvulas, manifolds, acumuladores y que guarda las válvulas generadoras de fallos en el segundo tramo del sistema; el conjunto inferior que guarda las válvulas generadoras de fallos en el primer tramo del sistema hidráulico; el conjunto de actuadores, sostiene los seis (6) actuadores de simulación del cíclico y colectivo en la parte izquierda de la estructura y la estructura que sostiene el freno de disco.

Figura 8.0 a Vista Isométrica del banco

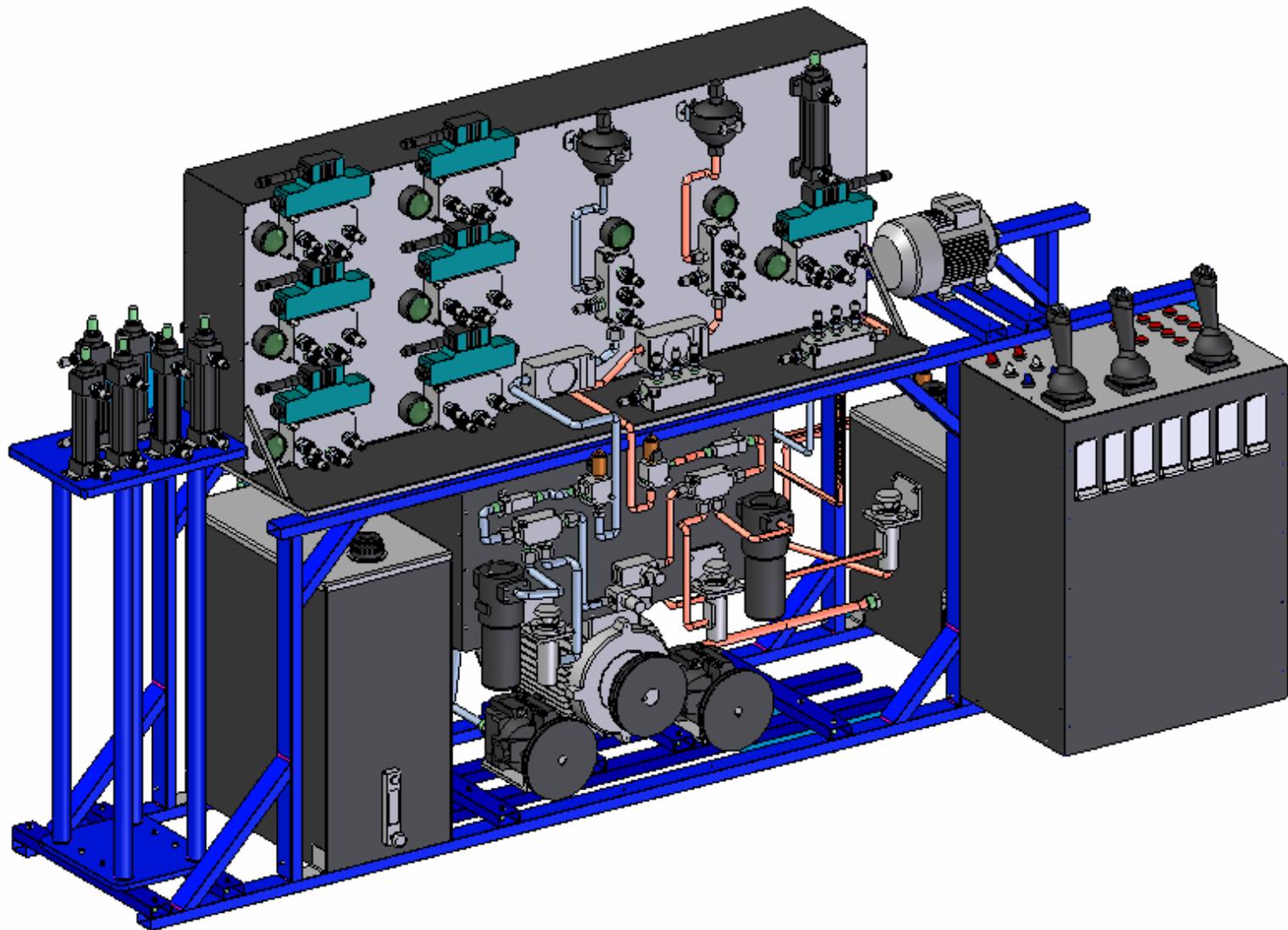


Figura 8.0 b Vista frontal del banco

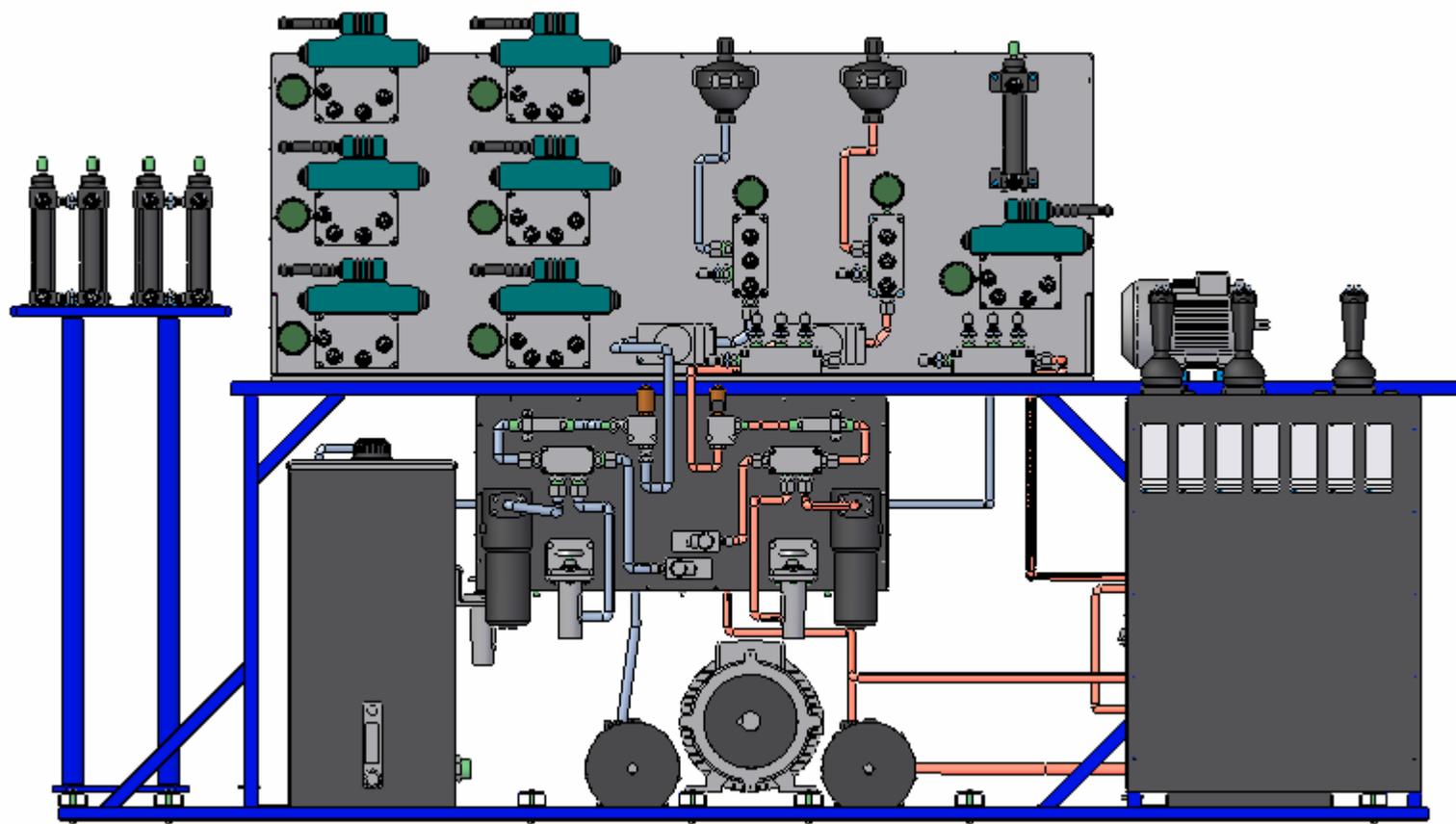


Figura 8.0 c Vistas de perfil del banco

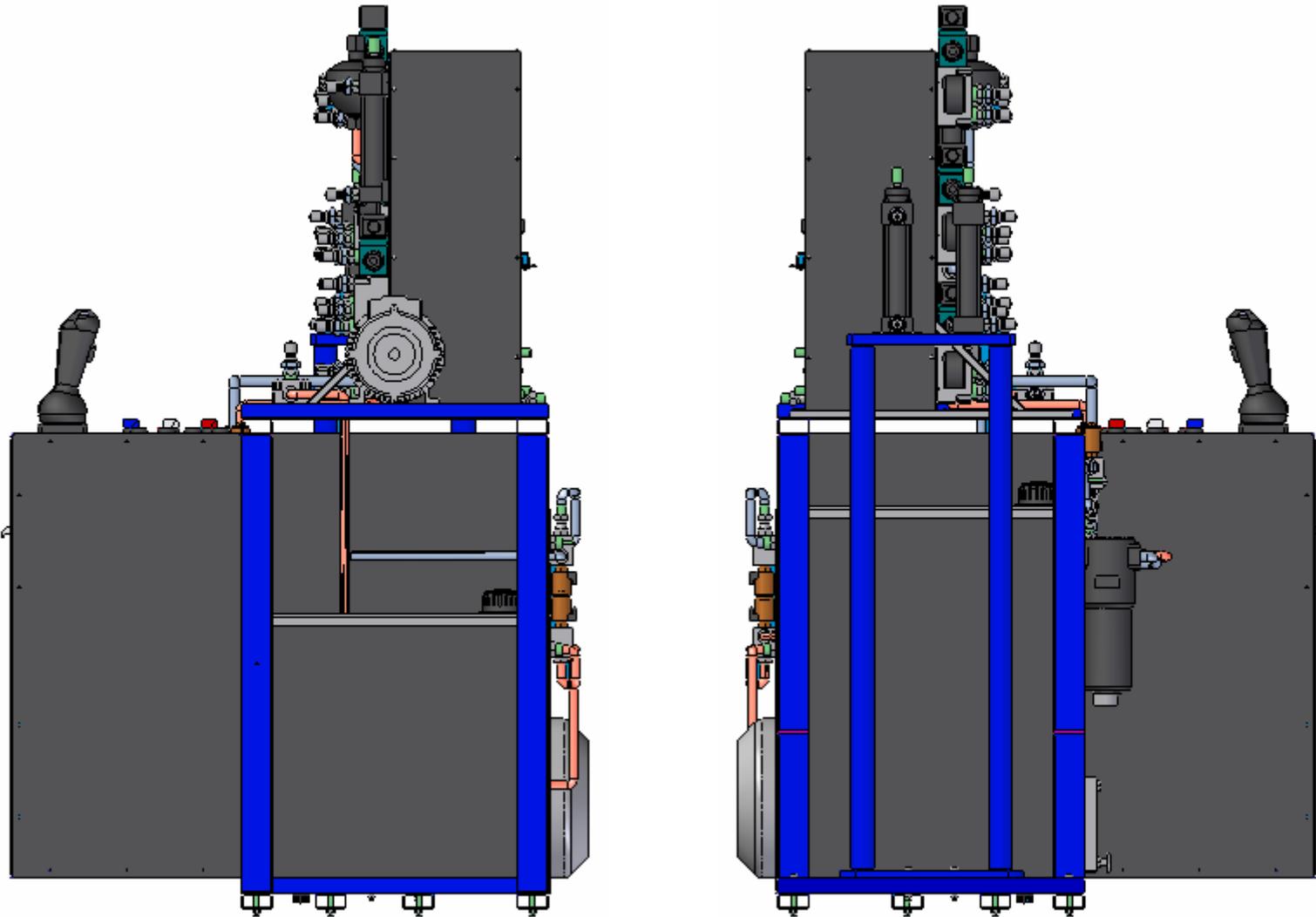


Figura 8.0 d Vista posterior del banco

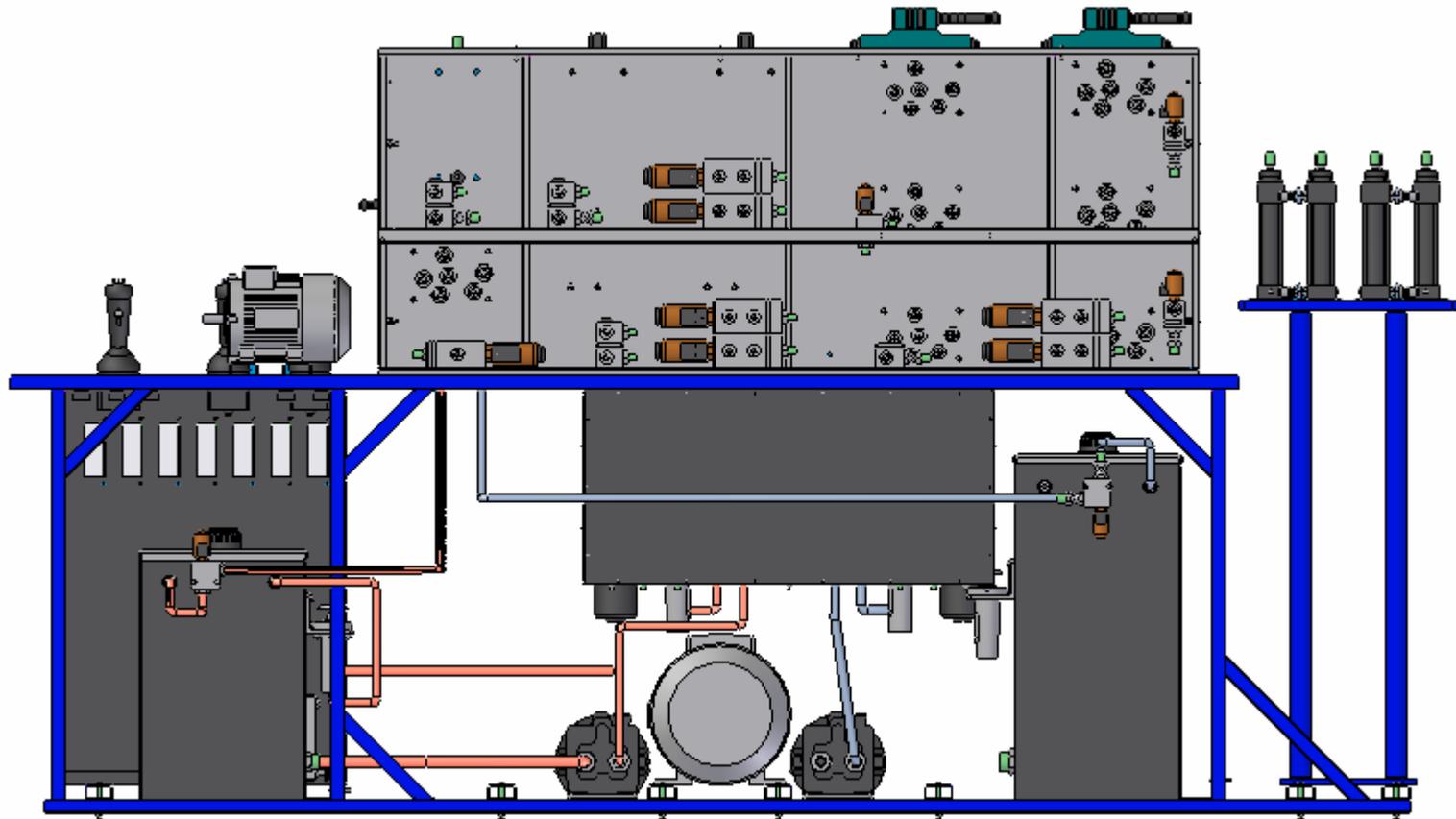


Figura 8.0 e Vista de planta y vista inferior del banco

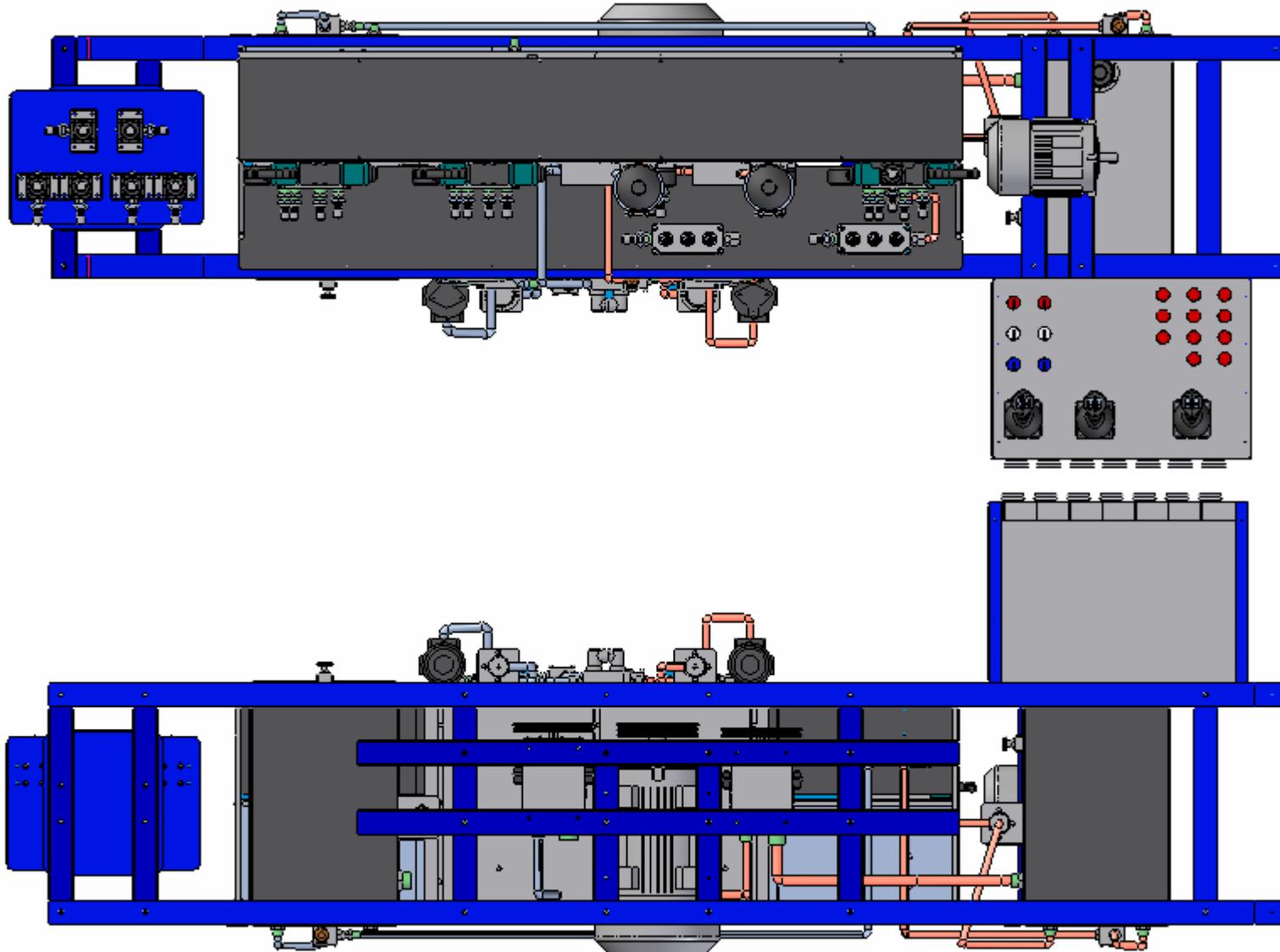
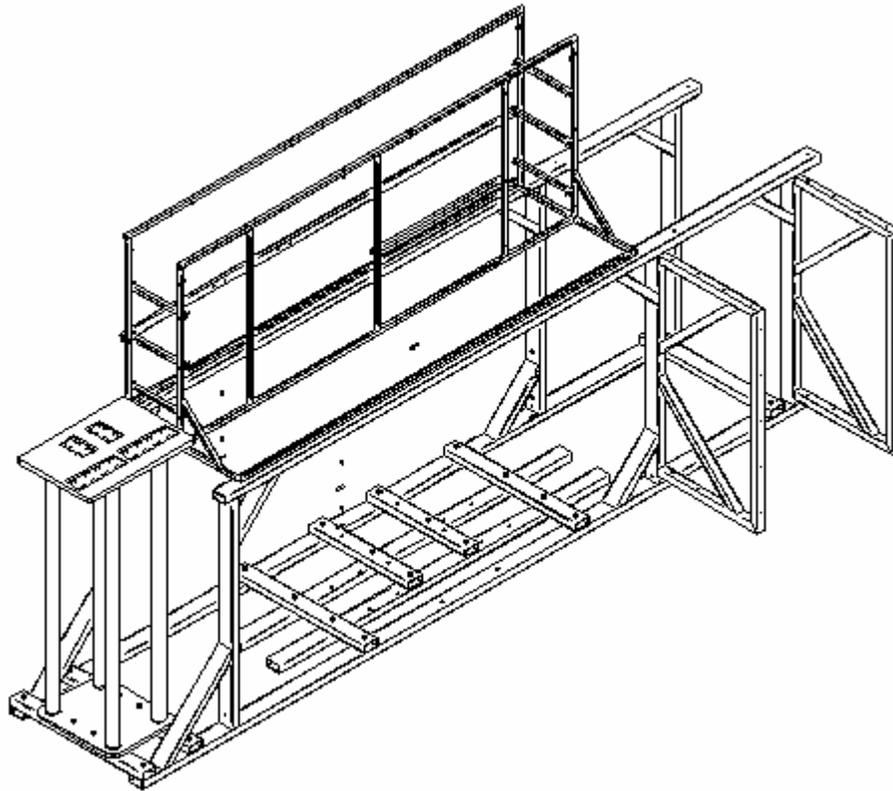


Figura 8.1 Estructura Principal



8.1.1 Conjunto Principal

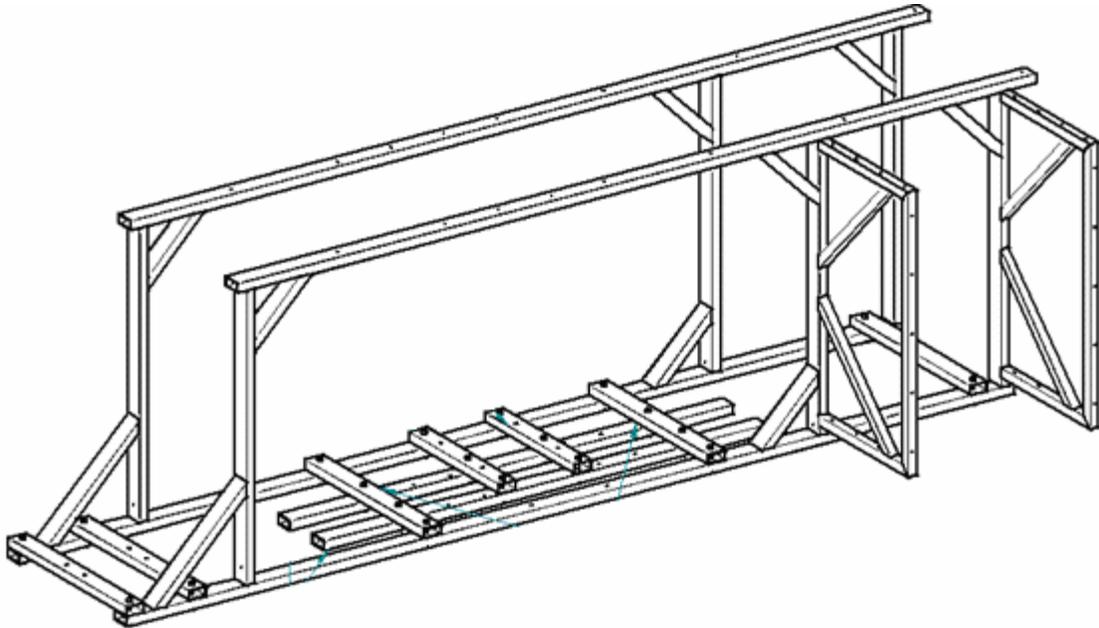
La sección inferior, está formada por dos vigas rectangulares de 1" x 2", que sostendrán el peso del conjunto superior, inferior y freno de disco. Sostiene en la parte inferior el motor eléctrico principal, el conjunto de bombas, el sistema de poleas para banda en V, y los depósitos.

Las vigas verticales que soportan la sección superior del banco, son perfiles rectangulares de 1"x2" instalados en los extremos. Estos perfiles ubicados verticalmente se encuentran soldados a las vigas transversales además están reforzados por pequeñas vigas a 45°.

Las vigas inferiores van ensambladas con tornillos de 5/16" de diámetro y 2 ¼" de longitud. En el extremo derecho se ubica el compartimiento para el sistema

eléctrico y está formado por tubos cuadrados de 1"x1"unidos con soldadura a las vigas verticales.

Figura 8.2 Conjunto Principal



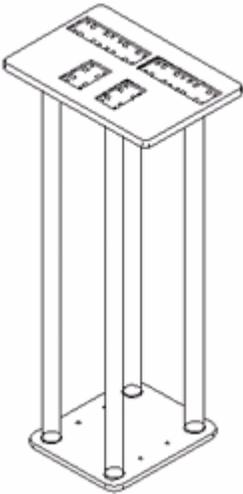
El exterior de este compartimiento se cubre con chapas de aluminio de 1 mm y son unidas con tornillos de 3/16". En el extremo derecho superior, se encuentra ensamblada la estructura del freno de disco. Al lado izquierdo, se instala a las vigas inferiores el conjunto de actuadores, acoplándolo de su base con cuatro (4) tornillos de 5/16" de diámetro y 2" de longitud.

8.1.2 Conjunto de Actuadores

Es un conjunto de construcción simple, que tiene como función montar los actuadores en forma vertical. Los actuadores se instalan sobre una chapa de acero ($\frac{3}{4}$ " de espesor) y se unen por medio de tornillos de 5/16-18 x 1 $\frac{1}{4}$ " de largo, que coincidan con la montura del cilindro. La estructura se monta sobre cuatro (4)

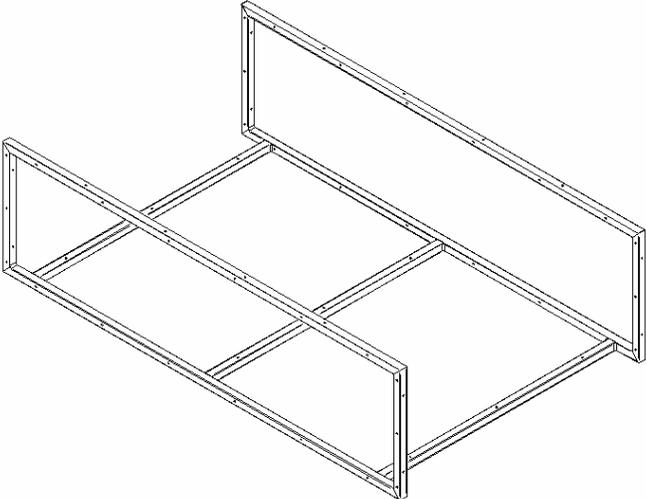
tubos redondos de 1 ½” de diámetro por 35” de longitud en acero puestos verticalmente como se muestra en la figura. Los tubos van acoplados a las chapas y están unidos por medio de soldadura.

Figura 8.3 Estructura de soporte de actuadores



8.1.3 Conjunto Inferior

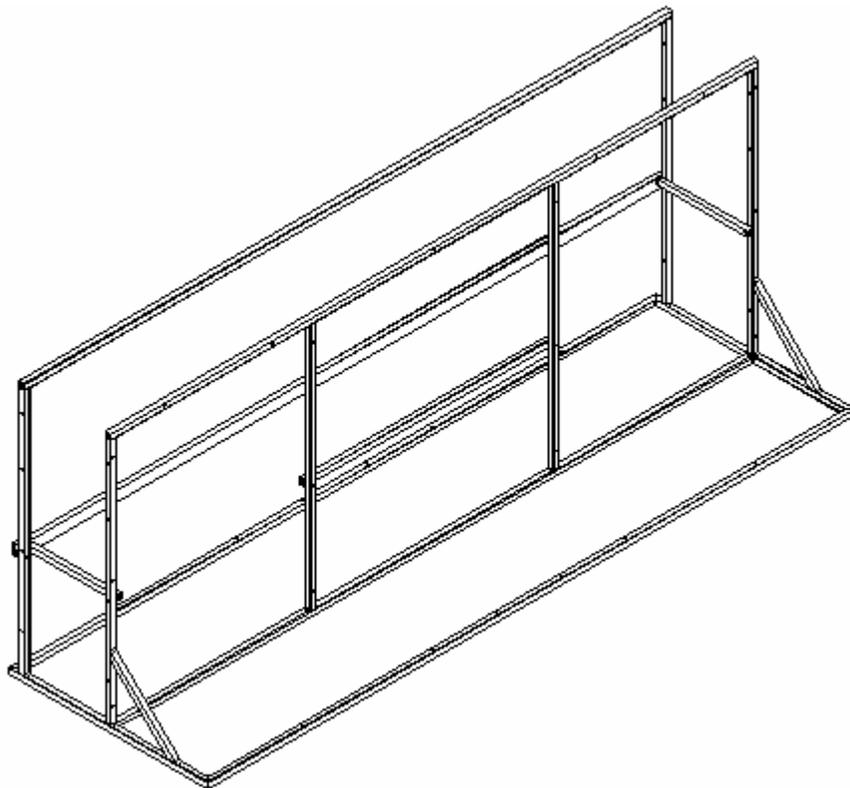
Figura 8.4 Estructura y compartimiento inferior



El compartimiento inferior está diseñado para instalar las válvulas que generarán fallos en primer tramo del sistema y no son visibles en el momento de efectuar la práctica, además en la chapa frontal se instalan algunos componentes que están visibles en el sistema. La estructura está compuesta por tubería cuadrada de $\frac{1}{2}$ " x $\frac{1}{2}$ ", y está enchapada con dos tipos de lámina. Las láminas laterales y posteriores son en aluminio de 1 mm con fin de cubrir los costados y la chapa frontal, en aluminio de 2 mm de espesor.

8.1.4 Conjunto Superior

Figura 8.5 Estructura y compartimiento superior



La estructura superior, está destinada para sostener la mayor parte del sistema hidráulico (válvulas proporcionales, manifolds, acumuladores, actuador, válvulas

solenoides). Se conforma por un marco en tubería cuadrada de ½" x ½", que sostiene una lámina de aluminio principal. Sobre ésta chapa, se montarán las válvulas y elementos hidráulicos. Al respaldo se encuentra un compartimiento para instalar las válvulas encargadas de generar los fallos en el segundo tramo del sistema.

La chapa principal se encuentra unida a la estructura por medio de tornillos de 3/16". Las chapas de los costados son en aluminio de 2 mm de espesor y cubren la estructura. En el interior se encuentran dos chapas adicionales de 2 mm de espesor, con el fin de sostener las válvulas solenoides que generan fallos. (Para mayores detalles se encuentra el proceso de ensamble de la estructura y referirse al anexo 1 planos de ingeniería).

8.2 NUMERO DE PARTES E IDENTIFICACIÓN DE LAS PIEZAS DE LA ESTRUCTURA

La estructura del banco está compuesta de una gran cantidad de piezas que en el momento de ensamblarse o para alguna acción de mantenimiento como reemplazo, tenderían a confundirse con las demás; para ello se identificarán con los parte/números "P/N" dados a continuación. En los planos, todas las piezas de la estructura se identifican con estos parte/números.

8.2.1 Identificación Conjunto Principal

Tabla 8.1 Numero de partes, conjunto principal

Cantidad	P/N	Descripción
1	EP-00A	Subconjunto principal A
1	EP-00B	Subconjunto principal B
1	EP-00	Soldadura conjunto principal
2	EP-01	Tubería estructural (1"x2") de 100".
2	EP-02	Tubería estructural (1"x2") de 20".
1	EP-03	Tubería estructural (1"x2") de 20".
2	EP-04	Tubería estructural (1"x2") de 15".

2	EP-05	Tubería estructural (1"x2") de 30".
1	EP-06	Tubería estructural (1"x2") de 30".
1	EP-07	Tubería estructural (1"x2") de 30".
1	EP-08	Tubería estructural (1"x2") de 30".
1	EP-09	Tubería estructural (1"x2") de 30".
2	EP-10	Tubería estructural (1"x2") de 90".
8	EP-11	Tubería estructural (1"x2") de 9.2".
2	EP-12	Tubería estructural (1"x2") de 14.85".
2	EP-13	Tubería estructural (1"x2") de 50".
2	EP-14	Tubería estructural (1"x2") de 20".
4	EP-15	Tubería estructural (1"x1") de 15".
2	EP-16	Tubería estructural (1"x1") de 29".
4	EP-17	Tubería estructural (1"x1") de 17".
1	EP-18	Chapa de aluminio 2 mm.
2	EP-19	Chapa de aluminio 1 mm.
1	EP-20	Chapa de aluminio 2 mm.
1	EP-21	Chapa de aluminio 2 mm.
1	EP-22	Chapa de aluminio 1 mm.

8.2.2 Identificación Conjunto de Actuadores

Tabla 8.2 Numero de partes, conjunto de actuadores

Cantidad	P/N	Descripción
1	EA-00	Soldadura conjunto de actuadores
4	EA-01	Tubos redondos de acero Calibre C-14, 35"x 1½".
1	EA-02	Soporte inferior de acero.
1	EA-03	Soporte medio de acero para actuadores.

8.2.3 Identificación Conjunto Superior

Tabla 8.3 Numero de partes, conjunto superior

Cantidad	P/N	Descripción
1	ES-00	Soldadura conjunto superior
2	ES-01	Tubería estructural (½"x½") de 60".
1	ES-02	Tubería estructural (½"x½") de 59".
1	ES-03	Tubería estructural (½"x½") de 18.5".
1	ES-04	Tubería estructural (½"x½") de 18.5".

3	ES-05	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 23".
2	ES-06	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 23".
2	ES-07	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 23".
1	ES-08	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 23".
6	ES-09	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 8.5".
1	ES-10	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 60".
1	ES-11	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 60".
1	ES-12	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 60".
2	ES-13	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 8.5".
1	ES-14	Chapa de aluminio 2 mm.
2	ES-15	Chapa de aluminio 1 mm.
1	ES-16	Chapa de aluminio 1 mm.
1	ES-17	Chapa de aluminio 2 mm.
1	ES-18	Chapa de aluminio 2 mm.
1	ES-19	Chapa de aluminio 2 mm.
1	ES-20	Chapa de aluminio 1 mm.
1	ES-21	Chapa de aluminio 1 mm.

8.2.4 Identificación Estructura Inferior

Tabla 8.4 Numero de partes, conjunto inferior

Cantidad	P/N	Descripción
1	EI-00	Soldadura estructura inferior
3	EI-01	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 17.5".
2	EI-02	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 30".
2	EI-03	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 30".
4	EI-04	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 8.5".
2	EI-05	Chapa de aluminio 1 mm.
1	EI-06	Chapa de aluminio 2 mm.
1	EI-07	Chapa de aluminio 1 mm.
1	EI-08	Chapa de aluminio 1 mm. (EXTERIOR)

8.2.5 Identificación Tanques

Tabla 8.5 Numero de partes, tanques

Cantidad	P/N	Descripción
1	T1-01	Lámina inferior tanque 1

1	T1-02	Láminas delantera y trasera tanque 1
2	T1-03	Láminas laterales tanque 1
1	T1-04	Tapa tanque 1
1	T1-05	Montura tanque 1
1	T2-01	Lámina inferior tanque 2
1	T2-02	Láminas delantera y trasera tanque 2
1	T2-03	Láminas laterales tanque 2
1	T2-04	Tapa tanque 2
1	T2-05	Montura tanque 2

8.2.6 Identificación de Piezas Diseñadas para el Montaje de Elementos

Tabla 8.6 Numero de partes, piezas diseñadas

Cantidad	P/N	Descripción
1	M-01	Manifold "A" sistema hidráulico N° 1
1	M-02	Manifold "A" sistema hidráulico N° 2
1	M-03	Manifold "B" sistema hidráulico N° 1
1	M-04	Manifold "B" sistema hidráulico N° 2
4	M-05	Manifold "C" sistema hidráulico N° 1
3	M-06	Manifold "C" sistema hidráulico N° 2
2	M-07	Manifold "D" sistema hidráulico N° 1 y N° 2
1	AM-01	Ensamble Manifold "A" sistema hidráulico N° 1
1	AM-02	Ensamble Manifold "A" sistema hidráulico N° 2
1	AM-03	Ensamble Manifold "B" sistema hidráulico N° 1
1	AM-04	Ensamble Manifold "B" sistema hidráulico N° 2
4	AM-05	Ensamble Manifold "C" sistema hidráulico N° 1
3	AM-06	Ensamble Manifold "C" sistema hidráulico N° 2
2	AM-07	Ensamble Manifold "D" sistema hidráulico N° 1 y N° 2
4	SP-00	Separador para válvula solenoide.
2	SP-01	Montura para bomba PVP-16 PARKER
4	SP-02	Montura válvula de alivio.

8.3 PROCESO DE ENSAMBLE DEL BANCO

El anexo 4, contiene un pequeño manual de construcción e instalación de la estructura.

9. EVALUACIÓN FINANCIERA Y COTIZACIONES

La finalidad de la evaluación financiera, es estimar los costos de componentes y materiales, dándose así una idea de la inversión total para una futura construcción. Para evaluar el proyecto financieramente, se van a considerar tres tipos de elementos por separado:

- Elementos estructurales, donde lo conforman todas las tuberías cuadradas, rectangulares, redondas, chapas, rodachinas del banco, electrodos de soldaduras, materiales para las piezas diseñadas.
- Componentes hidráulicos seleccionados, incluyen bombas, válvulas, tuberías y mangueras, aceite hidráulico.
- Componentes electrónicos del sistema, tales como motores, arrancadores, interruptores, cableado, etc.

9.1 ELEMENTOS ESTRUCTURALES

De acuerdo a la cantidad de elementos necesarios para construir la estructura del banco, los materiales requeridos para todo el banco suman las siguientes cantidades:

Tabla 9.0 Materiales estructurales para el banco

Conjunto	Cantidad m (in)	Cantidad m ²
Conjunto Principal	19.80 m (779 in) tubería estructural rectangular de 1"x2", C-16 espesor	0.82 m ² Lámina aluminio 2 mm
	4.80 m (188 in) tubería estructural cuadrada de 1"x1", C-14 espesor	0.56 m ² Lámina aluminio 1 mm
Conjunto Actuadores	3.60 m (140 in) tubería estructural redonda de 1 ½", C-14 espesor	Lamina acero inoxidable 10"x12", ½" espesor
		Lámina acero inoxidable 11"x16", ¾" espesor
Conjunto Inferior	6.10 m (240 in) tubería cuadrada de ½"x½" C-14 espesor	0.62 m ² Lámina aluminio 1mm
		0.66 m ² Lámina aluminio 2 mm

Conjunto	Cantidad m (in)	Cantidad m ²
Conjunto Superior	21.2 m (835 in) tubería cuadrada de ½"x½" C-14 espesor	1.76 m ² Lámina aluminio 2 mm
	1.60 m (60 in) tubería rectangular de 1"x½" C-14 espesor	0.60 m ² Chapa aluminio 1 mm
Tanques	-	2.56 m ² Lámina de acero laminada en caliente, espesor C-14
Conjunto Freno	-	-
TOTAL	19.80 m Tubería de 1"x2"	3.81 m ² lámina aluminio 2 mm
	4.80 m Tubería de 1"x1"	1.78 m ² Lámina aluminio 1 mm
	3.60 m Tubería redonda diámetro 1 ½"	Lamina acero inoxidable 10"x12"x ½"
	1.60 m Tubería de 1"x½"	Lamina acero inoxidable 11"x16"x ¾"
	27.30 m Tubería de ½"x½"	2.56 m ² Lámina de acero C-14

Comercialmente se maneja este tipo de elementos y son vendidos de la siguiente forma:

Tabla 9.1 Cotización de elementos estructurales

TUBERÍA ESTRUCTURAL			
Cantidad (tubos)	Descripción	Precio en pesos (6 m.)	Precio Paquete
5	Tubería estructural cuadrada de ½" x ½" y C-14 de espesor	\$12.375	\$68.875
1	Tubería estructural cuadrada de 1" x 1" y C-16 de espesor	\$25.750	\$25.750
4	Tubería estructural rectangular de 1" x 2" y C-16 de espesor	\$16.100	\$64.400
1	Tubería estructural rectangular de ½" x 1" y C-16 de espesor	\$39.400	\$39.400
1	Tubería estructural redonda de 1½", C-16 de espesor	\$43.250	\$43.250

LÁMINAS			
Cantidad (laminas)	Descripción	Precio en pesos	Precio Paquete
2	Lámina de aluminio lisa, 1m x 2m x 1mm	\$79.213	\$158.426
3	Lámina de aluminio lisa, 1m x 2m, espesor 2mm	\$178.500	\$535.500
2	Lámina de acero laminado en caliente C-14, 1.20 m x 2.44 m	\$94.778	\$189.556
SUBTOTAL			\$1'125.157
IVA 16 %			\$180.025
TOTAL			\$1'305182

Para el ensamble de los elementos se requiere tortillería, tuercas y arandelas, electrodos de soldadura SW-6013, con la siguiente cantidad:

Tabla 9.2 Cotización de tortillería

Cantidad	Descripción	Precio en pesos por Unidad	Precio Paquete
50 unid.	Tornillo 3/16-24 de 3/8" de largo, ranura en cruz	\$17	\$850
50 unid.	Tornillos 3/16-24 de 1 1/2" de largo, ranura en cruz	\$37	\$1850
50 unid.	Tornillo 3/16-24 de 1" de largo, ranura en cruz	\$28	\$1400
50 unid.	Tornillo 1/4-20 de 5/8" de largo, ranura en cruz	\$38	\$1900
50 unid.	Tornillo 1/4-20 de 1" de largo, ranura en cruz	\$49	\$2450
50 unid.	Tornillo 1/4-20 de 1 1/2" de largo, cabeza hexagonal	\$56	\$2800
50 unid.	Tornillo 1/4-20 de 2" de largo, ranura en cruz	\$83	\$4150
50 unid.	Tornillo 1/4-20 de 5" de largo, hexagonal	\$223	\$11.150
50 unid.	Tornillo 5/16 - 18 de 2" de largo, ranura en cruz	\$198	\$9.900
50 unid.	Tornillo 5/16 - 18 de 2 1/4" de largo, ranura en cruz	\$243	\$12.150
50 unid.	Tornillo 5/16 - 18 de 4" de largo, ranura en cruz	\$324	\$16.200
100 unid.	Tuerca 3/16-24	\$11	\$1100
100 unid.	Tuerca 1/4-20	\$14	\$1400
100 unid.	Tuerca 5/16 - 18	\$23	\$2300
100 unid.	Arandelas 3/16-24	\$7	\$700
100 unid.	Arandelas 1/4-20	\$18	\$1800
100 unid.	Arandelas 5/16 - 18	\$20	\$2000
TOTAL			\$74.100=

El valor total para los materiales estructurales es de **\$1'379.282=**.

9.2 Componentes Hidráulicos

De acuerdo a los componentes del sistema hidráulico escogidos son fabricados por EATON y PARKER, y cuentan con representación en Bogotá (Colombia) en los siguientes lugares:

- **EVCOL (COHA) LTDA**
Diagonal 16 No 60 - 71
Bogota,
CO
Phone: 57-1-420-8566
Toll Free:
Fax: 57-1-414-5234
www.eatonvickerscolombia.com
evcol@elsitio.net.co
- **HYCO LTDA**
Cra. 54 N° 15 – 25
BOGOTA,
CO
Tel: 5728276 – 5728280
www.hyco.com.co
hycobog@une.net.co
- **Hydraulic House Ltda**
Distribuidor
Carrera 52,# 13-75
Bogota -
Teléfono (571) 5718899
Fax (571) 4146371
jleon@hydraulichouse.com.co
- **Esso, Mobil**
Lubricantes
Oficina principal: Cr. 56 N° 19 -14 Puente aranda
Tel: 6280490
Tel. distribuidor: 2948100
E-mail: lubesonline.col@exxonmobil.com

Se cotizaron la siguiente lista de elementos en EATON y PARKER. Algunos de los elementos no se encuentran en existencia y no fueron cotizados, razón por la cual el precio concluido es sobre el listado:

Tabla 9.3 Cotización de componentes hidráulicos

EATON			
PARTE NUMERO	CANT	PRECIO UNITARIO	DESCRIPCIÓN
SHR5R-1.50x6.00-N-1.00-2-N-H-B-1-1-X	6	\$4'535.000=	Electronic feedback cylinder
SHR5A-1.50x6.00-N-1.00-2-N-H-B-1-1-X	1	\$4'535.000=	Electronic feedback cylinder
KBDG4V3-2C-07-N-10-**-**-1PE7-H7	7	\$1'132.500	Proportional Directional valve without feedback
	7	\$ 454.000	Card holder
EEA-PAM-523-D-32	7	\$ 1'940.625	Power amplifier with PID modules
JDA0AA-001CN-01000-99	2		Ultronics joysticks
JDA0CA-001CN-01000-99	1		Ultronics joysticks
JAC1-100	40		Joysticks cables
EHA-PSU-704-A3.5-20	1		Power supply unit 24V DC, 10A max output
SBV11-8V-C-A-3G-24DGP00	10	\$ 220.000	Bidirectional normally closed solenoid valve
SBV11-8V-O-A-3G-24DP-00	7	\$ 220.000	Bidirectional normally opened solenoid valve
SV4A-12V-3P-A6G-24DGL00-00	5	\$ 300.000	3 way, 2 position spool type solenoid valve
SV3A-12V-4P-A6G-24DGL00-00	6	\$ 300.000	4 way, 2 position spool type solenoid valve
A91 15 B 020 BN M 22	2	\$ 1'021.488	Diaphragm accumulator
ST-307-**-150-B	2	\$ 323.750	Pressure switch
XT-06-1F-20-UB	2	\$ 237.500	Pressure reducing valve for line mounting
F3-C-175-C-11UB	4	\$ 175.000	Pressure relief valve
OFP 065-1 B V G3 A03 H V7	2	\$ 1'002.375	Pressure line filter
OSS 2 B 1 M	2		In tank filter suction strainer
SP-113-C	2		Reservoir filler breather
GP-3000-30	10	\$ 47.025	Bourdon tube pressure gage
SDM – 750 – A – 060 – T	2	\$ 767.250	Flowmeter 3-30 GPM (STAUFF)
SNA – 127B – 5 – T – 12 – 60	2		Level indicator (with thermometer) (STAUFF)
PARKER			
PARTE NUMERO	CANT	PRECIO UNITARIO	DESCRIPCIÓN
PVP 16 20 R	2		Bomba de pistones, presión compensada
N 600 S	2	\$ 92.000	Needle valve
C 600 S	2	\$ 48.300	Check valve
H4-62	45		Hydraulic quick couplins “coupler”
H4-63	45		Hydraulic quick couplins “nipples”
AX08	15 m		Manguera hidráulica de 1/2”
AX10	15 m		Manguera hidráulica de 5/8”

821-6	2 m		Manguera multipropósito 3/8"
R28 x 2.5	1 m		Tubería en acero
R22 x 1.5	1 m		Tubería en acero
R18 x 1	1 m		Tubería en acero
R15 x 1	1 m		Tubería en acero
Aceite Hidráulico EXXON MOBIL			
-	1	\$1'419.422=	Nuto H 46 (tambor de 55 gal.)

La inversión total en componentes del sistema hidráulico que fueron cotizados, es de **\$ 71'515.373=**.

9.3 Componentes Eléctricos

De acuerdo a los componentes del sistema escogidos son fabricados por SIEMENS, y cuentan con representación en Bogotá (Colombia) en los siguientes lugares:

- Cofrecol Ltda.
Distribuidor de productos Siemens exclusivamente
Dir: Cr. 69C No.21-22 sur
Tel: (1) 2604555
Fax:(1) 4035853
e-mail: cofrecoltda@latinmail.com
- Elein Ltda.
Dir: Cl. 15 No. 13-58
Tel: (1) 3421788
Fax (1) 3418459
E-mail: ventas@eleinlimitada.com
Website: www.eleinlimitada.com

Se cotizaron los siguientes elementos:

Tabla 9.4 Cotización de componentes eléctricos

Item	Descripción	Cant.	Marca	V/Unidad	Total
1	Motor trifasico 12 Hp / 34.0 Amp. 220 V / 17.0 Amp. 440 V , 1800 RPM Dep: 01125 Ref: 1LA7 133 - 4YA70	1	SIEMENS	\$917.315	917.315

2	Motor trifasico 1,0 HP 900 RPM, Dep: 05171 Ref: 1LA7 096 - 8YA60	1	SIEMENS	\$540.418	540.418
3	Arrancador directo en caja 22,0-32,0 Amp, 12,0 Hp, Dep: 26998 Ref: 3RE1036 - 4EA34	1	SIEMENS	\$327.846	327.846
4	Arrancador directo en caja 2,8-4,0 Amp, 1,2 Hp, Dep: 26993 Ref: 3RE1016 - 1EA15	1	SIEMENS	\$154.469	154.469
5	Pulsador luminoso Rojo con led 230 VAC Dep: 101975, Ref: 3SB3654 - 0AA21	11	SIEMENS	\$50.651	557.161
6	Pulsador luminoso Verde con led 230 VAC Dep: 101979, Ref: 3SB3653 - 0AA41	2	SIEMENS	\$50.651	101.302
7	Pulsador doble 0-1, con lámpara a 230V. Dep: 27283 Ref: 3SA8 810 - 0EB11	2	SIEMENS	\$98.370	196.740
8	Conmutador de muletilla 0 - I, Dep: 27267, Ref: 3SB3603 - 2KA11	2	SIEMENS	\$29.123	58.246
PRECIOS NO INCLUYEN FLETES					
				SUBTOTAL	2.853.497
				IVA 16 %	456.560
				TOTAL	\$ 3.310.057

9.4 COMPONENTES MECÁNICOS DEL BANCO

Los componentes mecánicos que el banco necesita son en la transmisión y para el sistema de freno de disco.

Se cotizaron los siguientes elementos:

Tabla 9.5 Cotización de componentes mecánicos

Cantidad	Descripción	Precio en pesos por Unidad	Precio Paquete
2	Correas 3V de 40"	\$ 5000	\$ 10000
2	Polea 6.85" para banda en V de 1 hilera	\$ 38000	\$ 76000
1	Polea 6.85" para banda en V de 2 hileras	\$ 48000	-
1	Embrague de sobrecarga P/N OCR 1 SA C -L M23-P10/16	\$ 2'950.000	-
1	Disco de freno de 6"	\$ 150.000	-
1	Mordaza ajustable al disco	-	-
TOTAL			\$ 3'234.000

9.5 CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

Tomando como base los valores en pesos de todos los elementos cotizados que son necesarios para la construcción del banco (componentes hidráulicos, componentes eléctricos, componentes estructurales y mecánicos), en una futura construcción la inversión mínima promedio es la siguiente:

Tabla 9.6 Inversión para la construcción del banco

Componentes	Precio (pesos)
Hidráulicos	\$ 71'515.373
Eléctricos	\$ 3'310.100
Mecánicos	\$ 3'234.000
Estructurales	\$1'379.282
TOTAL	\$ 79'438.755=

Considerando que los componentes hidráulicos utilizados en el banco, son de última tecnología como en el caso de las válvulas proporcionales, cilindros electro-hidráulicos, tarjetas y entre otros, además que presentan precios elevados, la inversión es accesible para la Universidad de San Buenaventura.

10. GUÍAS DE LABORATORIO

Para el aprendizaje de conceptos de hidráulica y electro hidráulica, se expondrán 2 guías de práctica sobre el banco ya construido, donde se comprenderá el funcionamiento del sistema hidráulico del helicóptero Bell 212/412 y la electro-hidráulica del banco. La guía N° 1, enseña las similitudes del banco con el sistema hidráulico del helicóptero original y bajo que parámetros se debe encontrar el sistema. En la guía N° 2 el estudiante deberá reconocer las fallas simuladas en el sistema con el fin de tomar decisiones sobre el posible error, basado en la teoría aprendida en la asignatura y las prácticas previas.

10.1 GUÍA N° 1 – GENERALIDADES DEL SISTEMA HIDRÁULICO

El anexo 3, contiene el formato para la guía N° 1 – GENERALIDADES DEL SISTEMA HIDRÁULICO.

10.2 GUÍA N° 2 – SIMULACIÓN DE FALLOS

El anexo 3, contiene el formato para la guía N° 2 – SIMULACIÓN DE FALLOS.

ANEXO 1 – PLANOS DE INGENIERÍA

NOTA: Hacer clic en el parte número para abrir el archivo “PDF” del plano.

BSHHB-01	ES-11	Sub-conjuntos: A, B, C, D, E, F.
BSHHB-01A	ES-12	
EC-00	ES-14	
	<u>ES-15 / ES-16</u>	
EP-00A	ES-17	
EP-00B	ES-18	
EP-00	ES-19	
EP-01	ES-20	
<u>EP-02 / EP-03</u>	ES-21	
<u>EP-04 / EP-14</u>		
<u>EP-05 / EP-17</u>	EI-00	
<u>EP-06 / EP-07</u>	<u>EI-01 / EI-02</u>	
EP-08	EI-03	
EP-09	EI-04	
EP-10	<u>EI-05 / EI-08</u>	
<u>EP-11 / EP-12</u>	EI-06	
EP-13	EI-07	
<u>EP-15 / EP-16</u>		
EP-18	<u>T1-01 / T1-02 / T1-03</u>	
<u>EP-19 / EP-20</u>	<u>T1-04 / T2-04</u>	
EP-21	T1-05	
EP-22	<u>T2-01 / T2-02 / T2-03</u>	
	T2-05	
EA-00		
<u>EA-01/ EA-02</u>	M-01a, b	
<u>EA-03a / EA-03b</u>	M-02a, b	
	M-03a, b	
ES-00	M-04a, b	
ES-01	M-05a, b	
ES-02	M-06a, b	
ES-03	M-07	
ES-04		
<u>ES-05 / ES-13</u>	AM-01 / AM-03	
ES-06	AM-02 / AM-04	
ES-07	AM-05	
ES-08 / ES-09	AM-06	
ES-10	AM-07	

ANEXO 2 – CATÁLOGOS DE COMPONENTES

NOTA: Los catálogos en la versión digital, se encuentran listados y contienen un hipervínculo con los archivos correspondientes a los elementos.

Componentes Electro-hidráulicos

- Bomba pistones, presión compensada
- Actuador Electro-hidráulico con sensor de posición
- Válvula proporcional direccional sin “Feedback”
- Amplificador con módulos PID
- Card Holder
- Joysticks
- Unidad de potencia 24 Vdc, 10A max.
- Prácticas de instalación para productos eléctricos
- Ajuste de válvulas proporcionales
- Válvulas solenoide tipo cartucho
- Carcasas para válvulas solenoide
- Acumulador
- Válvulas reguladoras de caudal
- Válvulas cheque o antirretorno
- Sensor de presión
- Válvula reductora de presión
- Válvula de alivio de presión
- Filtro de presión en línea
- Filtro de succión, sumergido en tanque
- Accesorios (manómetro, respirador para tanque, flujómetro, visor de nivel)
- Fluido hidráulico EXON-MOBIL (Nuto H-46 series).
- Acoples rápidos
- Acoples para tubería rígida (NPTF, BSPP)

- Acoples para mangueras
- Tubería rígida
- Mangueras

Componentes Eléctricos

- Motor trifásico 1LA7-133-4YC80
- Motor trifásico 1LA7-090-6YA10
- Especificaciones técnicas de motores
- Pulsadores SINGUM, manual
- Arrancadores SIRUM

Componentes Mecánicos

- Tubería estructural en acero
- Láminas en acero
- Electrodo de soldadura SW 6013
- Embrague de sobrecarga
- Tabla de aceros

ANEXO 3 – GUÍAS DE LABORATORIO



GUÍA N° 1
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

INTRODUCCIÓN

La guía N° 1 tiene como objeto reforzar y facilitar el entrenamiento recibido teóricamente, en base al sistema hidráulico de aeronaves de ala rotatoria. El estudiante deberá reconocer los componentes del sistema hidráulico del banco y hallar el paralelo entre el sistema servo-hidráulico del helicóptero Bell 212/412 y la hidráulica proporcional que maneja el banco.

Durante a la práctica, el estudiante debe reconocer los elementos básicos que conforman ambos sistemas. Por medio del circuito hidráulico proporcionado en la guía, armar el sistema bajo la supervisión del docente.

El estudiante deberá identificar el proceso de control para el manejo de las válvulas proporcionales y saber conectar correctamente el cableado.

La finalidad de la práctica es que el estudiante pueda reconocer elementos electro-hidráulicos, leer e interpretar los circuitos hidráulicos, estar al tanto de la influencia de la presión, influencia del caudal, como trabaja un sistema proporcional de centro cerrado y sus ventajas y desventajas, construir un sistema hidráulico dado un circuito, y lo mas importante conocer las características básicas del sistema hidráulico de un helicóptero.



GUÍA N° 1
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

MEDIDAS DE SEGURIDAD DURANTE LA PRÁCTICA

Para el manejo del banco hidráulico, deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones de seguridad para el manejo:

- No utilizar el banco sin haber leído la guía previamente.
- No utilizar el banco si el docente no ha dado las instrucciones básicas
- Asegurarse de la limpieza en la instalación, todo el aceite que haya goteado, salpicado o regado, debe limpiarse para evitar que accidentes de trabajo como resbalarse, caerse, etc.
- Evitar el contacto de aceite con los ojos, en caso de esto, enjuáguelos y si es posible diríjase a un médico.
- Asegurarse de encender el sistema ÚNICAMENTE DESPUÉS de haber instalado todos los componentes adecuadamente como se muestra en la guía.
- Asegurarse de las conexiones en los acoples rápidos esté adecuadas.
- Verificar frecuentemente el estado de las mangueras y racores.



GUÍA Nº 1

BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

OBJETIVOS:

- Identificar los componentes hidráulicos presentes en el sistema del helicóptero y del banco.
- Establecer las funciones de cada elemento del sistema.
- Interpretar el circuito hidráulico y construirlo en el banco.
- Establecer las diferencias entre el sistema servo-mecánico del helicóptero y el sistema proporcional del banco con base a los circuitos y los esquemas.
- Determinar los parámetros de operación del sistema (presión, caudal).

GENERAL:

Los sistemas hidráulicos, están contruidos para generar energía de presión. La transmisión de energía mediante el movimiento de rotación de un motor eléctrico, es convertida en presión y caudal por medio de la bomba.

Para este caso, cabe anotar que en adición a la hidráulica convencional, la posibilidad de control electrónico hace que se consigan movimientos precisos, suaves y rápidos como los presenta el banco.

Los movimientos y esfuerzos son generados por medios hidráulicos; la entrada y procesamiento de señales por medio de componentes eléctricos y electrónicos como lo son los elementos de conmutación electromecánicos o controles programables.

El sistema hidráulico del helicóptero Bell 212/412 está conformado por los siguientes elementos:

- Tanques
- Bombas
- Conjunto Integrado de Válvula y Filtros
- Filtro de Presión
- Válvula de Alivio de Presión
- Válvula Solenoide
- Filtro de Retorno
- Válvula "Shutoff" de Retorno
- Sensado de Presión
- Medidores de Presión y Temperatura
- Switch de Temperatura
- Conjunto de Válvula Cheque Operada por Presión
- Servo-actuadores
- Sistema Hidráulico de Freno del Rotor Principal
- Acumuladores
- Líneas y Tuberías



GUÍA N° 1
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

MATERIAL Y COMPONENTES:

El sistema está compuesto por elementos hidráulicos convencionales y elementos electro-hidráulicos donde se pueden destacar:

- Controles
- Tanque
- Bomba y unidades de potencia
- Líneas y conexiones
- Acumuladores
- Actuadores electro-hidráulicos
- Válvulas proporcionales direccionales
- Controles de flujo
- Controles de presión
- Sensores
- Instrumentos de medición
- Diagramas y esquemas del circuito

PROCEDIMIENTO:

- De acuerdo al esquema del circuito hidráulico del helicóptero Bell 212/412, identifique la función de cada uno de los grupos de componentes principales en el sistema hidráulico. Establezca un paralelo entre el sistema hidráulico del helicóptero y el sistema hidráulico del banco.

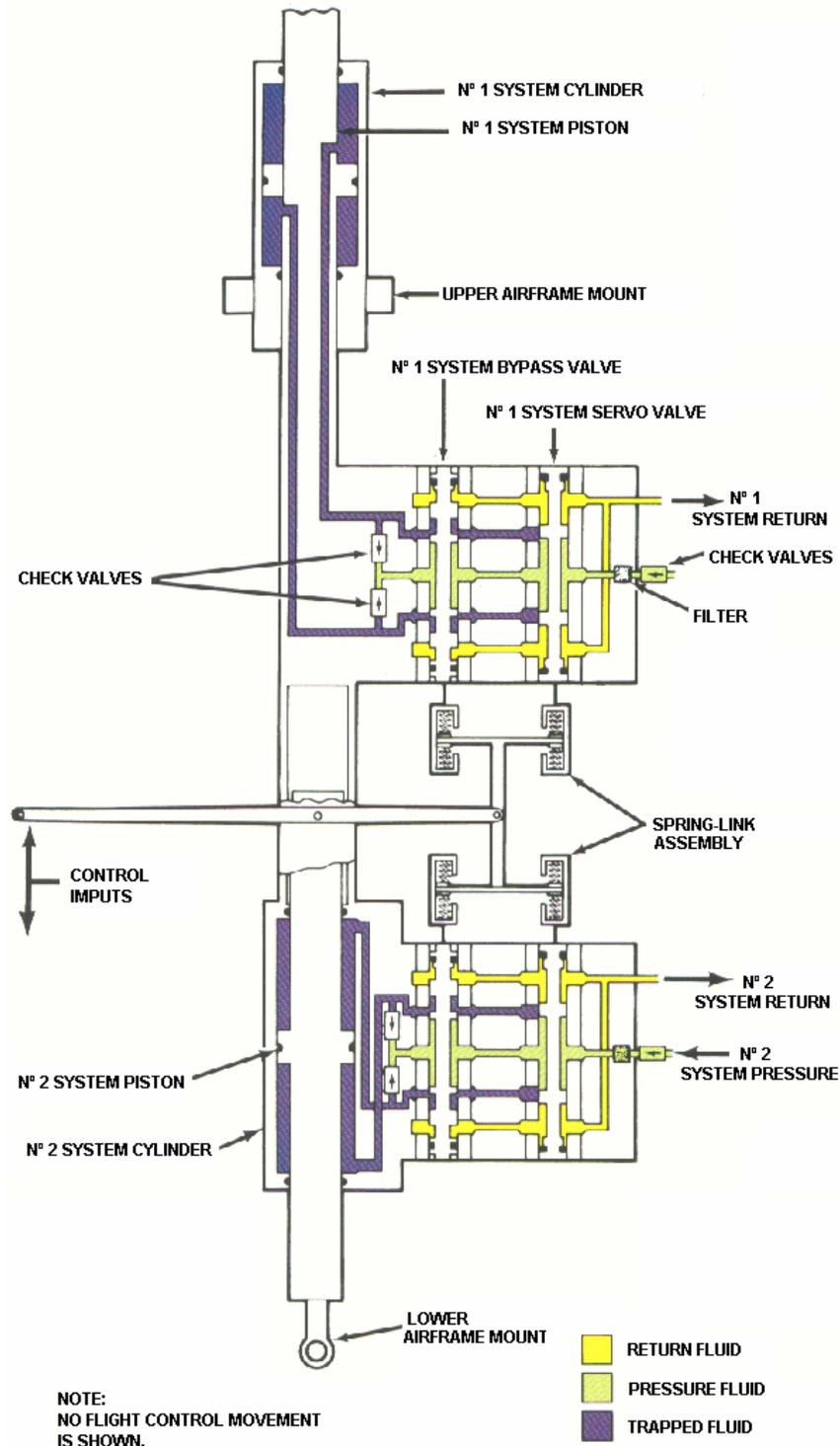
SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412	SISTEMA HIDRÁULICO DEL BANCO



GUÍA Nº 1

BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

Figura 1. Servoactuador doble del Helicóptero Bell 212 /412

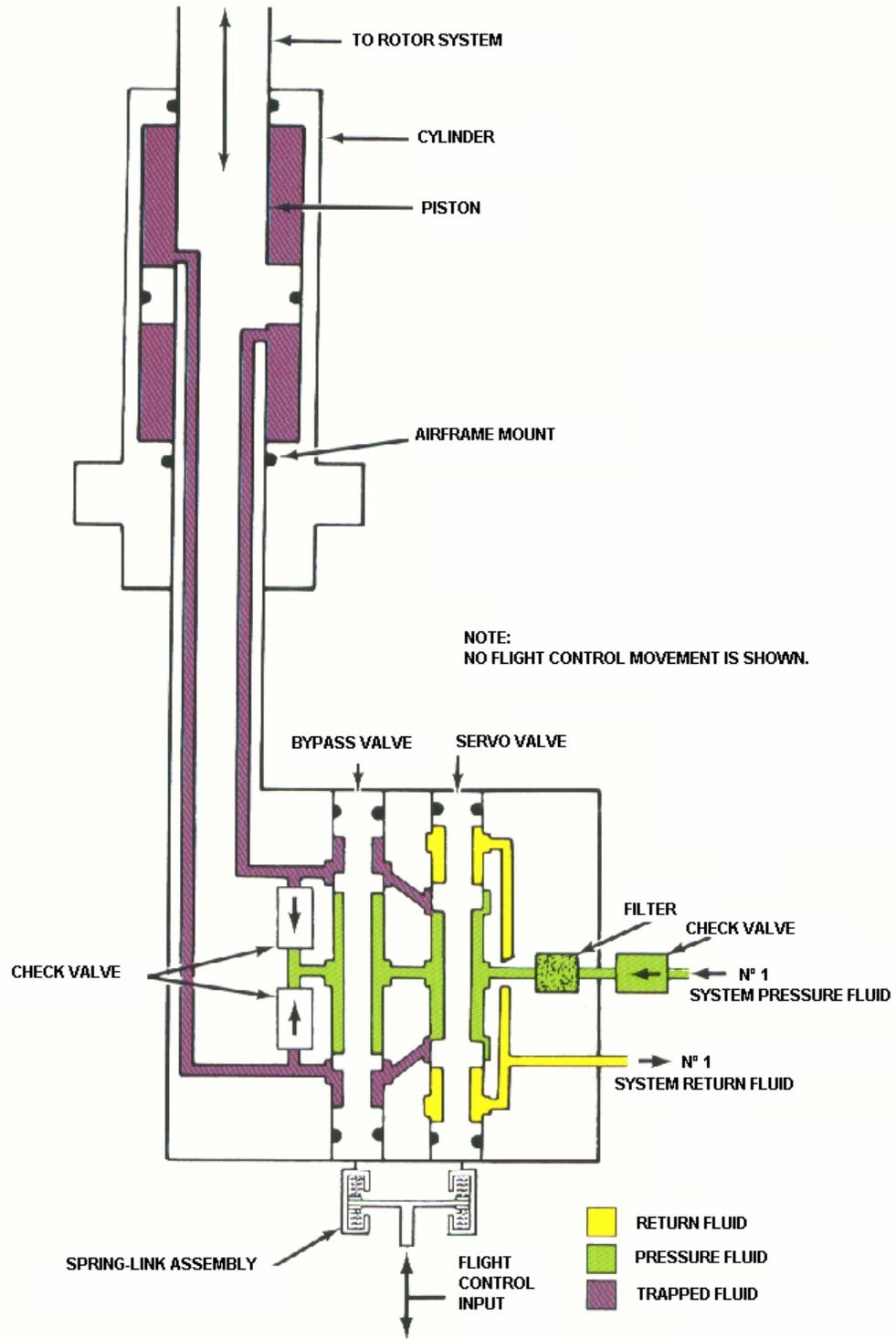




GUÍA N° 1

BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

Figura 2. Servoactuador sencillo del Helicóptero Bell 212 /412

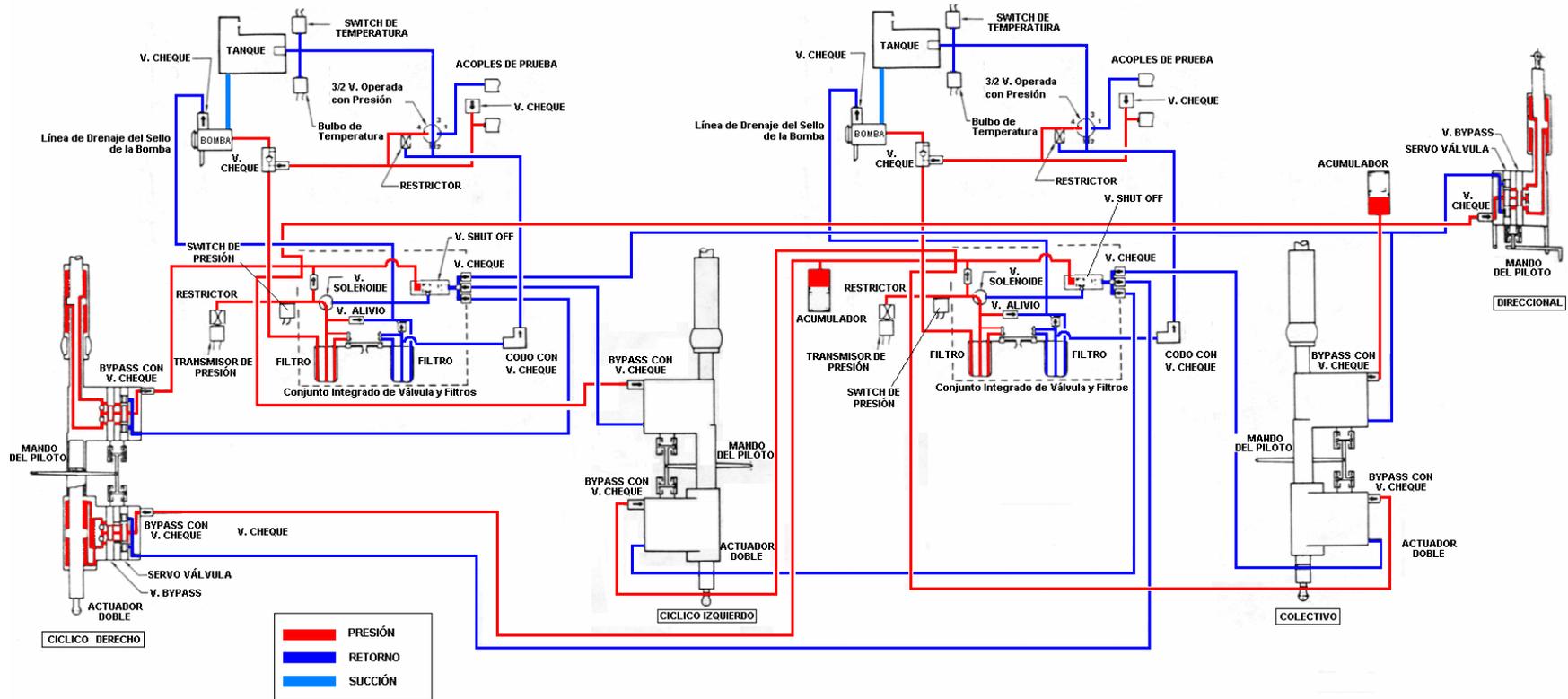




GUÍA Nº 1

BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

Figura 3. Circuito hidráulico del Helicóptero Bell 212 / 412





GUÍA N° 1
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

- Analice el proceso de control de una válvula proporcional. Escriba las funciones de los siguientes elementos:

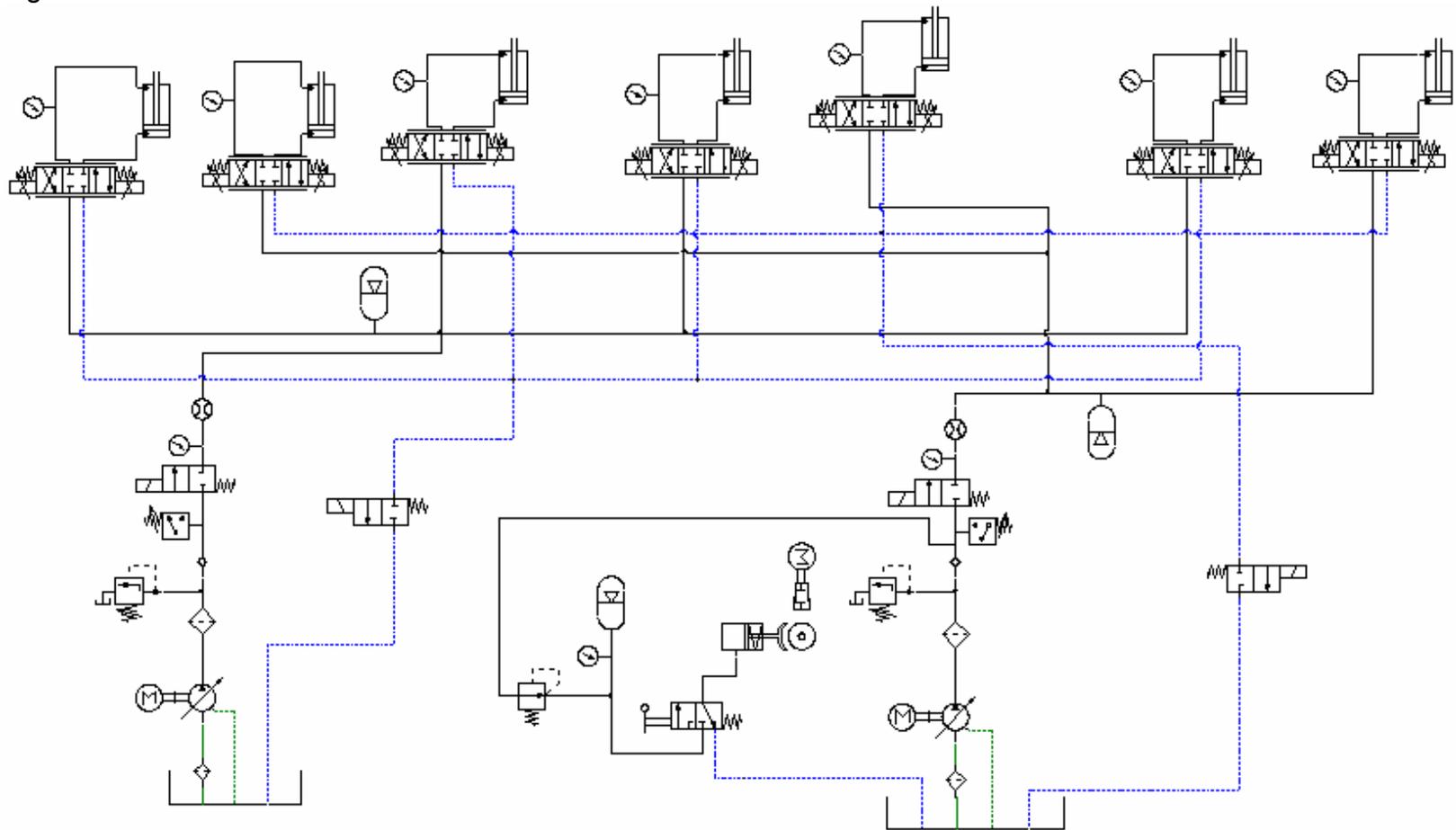
ELEMENTO	FUNCIÓN
Controlador	
Tarjeta	
Válvula proporcional	

- La tarjeta es un dispositivo indispensable en el control de elementos proporcionales. Con la figura 5 que se muestra a continuación, indique las partes de una tarjeta y escriba su función.
- De acuerdo con el circuito proporcionado y los elementos presentes en el banco, clasifique los elementos del circuito hidráulico con una breve descripción (ver figura 4).



GUÍA N° 1
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

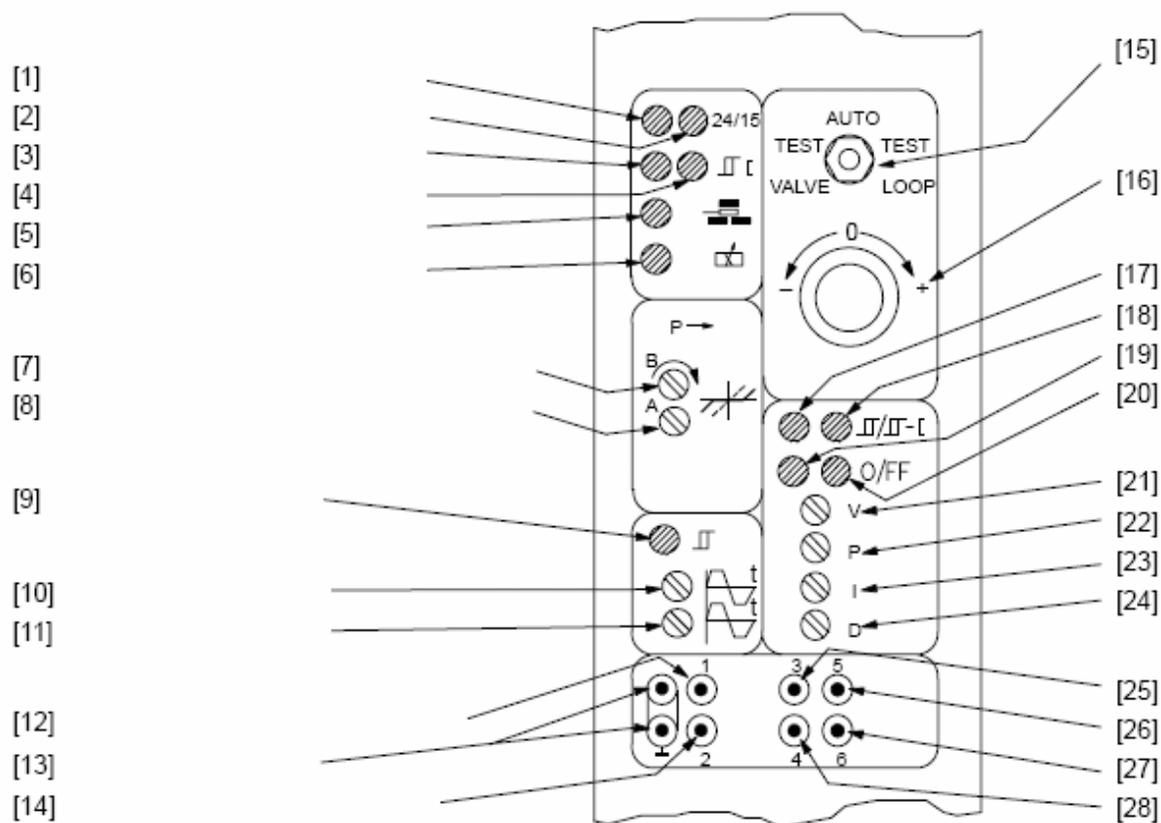
Figura 4. Circuito hidráulico del banco





GUÍA Nº 1
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

Figura 5. Tarjeta proporcional





GUÍA N° 1
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Tanque	
Bomba y unidades de potencia	
Líneas y conexiones	
Acumuladores	
Actuadores	
Válvulas proporcionales direccionales	
Controles de flujo	
Controles de presión	
Sensores	
Instrumentos de medición	

- *Construya el circuito hidráulico, conectando todas las líneas hidráulicas y eléctricas bajo supervisión del docente.*

NOTA: Nunca encienda el sistema antes de haber realizado las conexiones en su totalidad. Al haber conectado todos los componentes del sistema (líneas hidráulicas, válvulas proporcionales, sensores, etc.) revisar de nuevo las conexiones.



GUÍA N° 1
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

- Encienda en el panel de control principal, el interruptor ON/OFF para dar energía eléctrica al sistema. A continuación gire el pulsador para encender el motor principal.
- Permita estabilizar la presión en 1000 psig, y ventear el sistema por aproximadamente 1 minuto.
- Encienda los sistemas hidráulicos N° 1 y N° 2 de los pulsadores indicados en el panel de control.
- Permita de nuevo estabilizar la presión del sistema con un valor de 1000 psi aproximadamente.
- Una vez el sistema esté trabajando completamente, verifique la presión en todos los manómetros y el caudal. Escriba los valores de los parámetros en la tabla.

PARÁMETRO	SISTEMA 1	SISTEMA 2
Presión entrada		
Caudal de entrada		
Presión actuadores cíclico		
Presión actuadores colectivo		
Presión actuador direccional		

- Accione el joystick del cíclico lentamente y observe el comportamiento de los actuadores.
- Accione el joystick del colectivo y direccional lentamente y observe el comportamiento de los actuadores.



GUÍA N° 1
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

- Con base a lo observado, como trabaja el sistema proporcional en comparación con el sistema servo-mecánico que se encuentra en el sistema del helicóptero. Escriba las diferencias y similitudes en el siguiente cuadro comparativo.

SISTEMA PROPORCIONAL	SISTEMA SERVO-MECÁNICO

- Escriba las conclusiones correspondientes a la práctica.



GUÍA N° 2
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

INTRODUCCIÓN

La guía N° 2 tiene como objeto reforzar y facilitar el entrenamiento recibido teórico-práctico, en la guía N° 1 basada en el sistema hidráulico pero con la diferencia de que se simularán fallos y se realizará un caza-fallas del sistema. El estudiante deberá reconocer las fallas y sus causas más probables.

Como anteriormente se comprendió el funcionamiento del helicóptero, del banco del sistema hidráulico y se fortalecieron los conceptos acerca de componentes servo-mecánicos y dispositivos de control proporcional; el estudiante como ingeniero debe comprender que durante las prácticas, muchas veces los sistemas hidráulicos presentan fallos y la finalidad es que se tome una decisión en cuanto al problema y que acción correctiva debe seguirse a continuación.

Los fallos que se van a simular en el banco, son los mas comunes que el sistema hidráulico del helicóptero puede presentar durante el vuelo, además de averías que generalmente los sistemas hidráulicos presentan debido al envejecimiento de los componentes o factores que se relacionan con un mal manejo o deficientes prácticas de mantenimiento.



GUÍA N° 2
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

MEDIDAS DE SEGURIDAD DURANTE LA PRÁCTICA

Para el manejo del banco hidráulico, deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones de seguridad para el manejo:

- No utilizar el banco sin haber leído la guía previamente.
- No utilizar el banco si el docente no ha dado las instrucciones básicas
- Asegurarse de la limpieza en la instalación, todo el aceite que haya goteado, salpicado o regado, debe limpiarse para evitar que accidentes de trabajo como resbalarse, caerse, etc.
- Evitar el contacto de aceite con los ojos, en caso de esto, enjuáguelos y si es posible diríjase a un médico.
- Asegurarse de encender el sistema ÚNICAMENTE DESPUÉS de haber instalado todos los componentes adecuadamente como se muestra en la guía.
- Asegurarse de las conexiones en los acoples rápidos esté adecuadas.
- Verificar frecuentemente el estado de las mangueras, racores y conexiones eléctricas de las válvulas.



GUÍA N° 2

BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

OBJETIVOS:

- Identificar los parámetros del sistema bajo funcionamiento normal.
- Identificar y de una acción correctiva a cada una de las fallas simuladas en el banco.
- Proponer acciones de mantenimiento a los componentes de acuerdo a las fallas que se simulen en el banco.

GENERAL:

Las actuales técnicas de mantenimiento y diagnóstico de fallas producen un ahorro sustancial, especialmente en los equipos hidráulicos debido fundamentalmente a altas inversiones iniciales y a su criticidad en la producción. Por ello, el enfoque de esta guía es plenamente técnico y orientado a conocer el sistema hidráulico en su estructura para localizar una falla y tomar medidas preventivas y/o correctivas.

MATERIAL Y COMPONENTES:

El sistema está compuesto por elementos hidráulicos convencionales y elementos electro-hidráulicos donde se pueden destacar:

- Controles
- Tanque
- Bomba y unidades de potencia
- Líneas y conexiones
- Acumuladores
- Actuadores
- Válvulas direccionales
- Controles de flujo
- Controles de presión
- Sensores
- Instrumentos de medición
- Circuito hidráulico

PROCEDIMIENTO:

- *Construya el circuito, conectando todas las líneas hidráulicas y eléctricas bajo supervisión del docente.*



GUÍA N° 2
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

NOTA: Nunca encienda el sistema antes de haber realizado las conexiones en su totalidad. Al haber conectado todos los componentes del sistema (líneas hidráulicas, válvulas proporcionales, sensores, etc.) revisar de nuevo las conexiones.

- *Encienda en el panel de control principal, el interruptor ON/OFF para dar energía eléctrica al sistema. A continuación gire el pulsador para encender el motor principal.*
- *Permita estabilizar la presión en 1000 psig, y ventear el sistema por aproximadamente 1 minuto.*
- *Encienda los sistemas hidráulicos N° 1 y N° 2 de los pulsadores indicados en el panel de control.*
- *Permita de nuevo estabilizar la presión del sistema con un valor de 1000 psi aproximadamente.*
- *Una vez el sistema esté trabajando completamente, verifique la presión en todos los manómetros y el caudal. Escriba los valores de los parámetros en la tabla.*

PARÁMETRO	SISTEMA 1	SISTEMA 2
Presión entrada		
Caudal de entrada		
Presión actuadores cíclico		
Presión actuadores colectivo		
Presión actuador direccional		

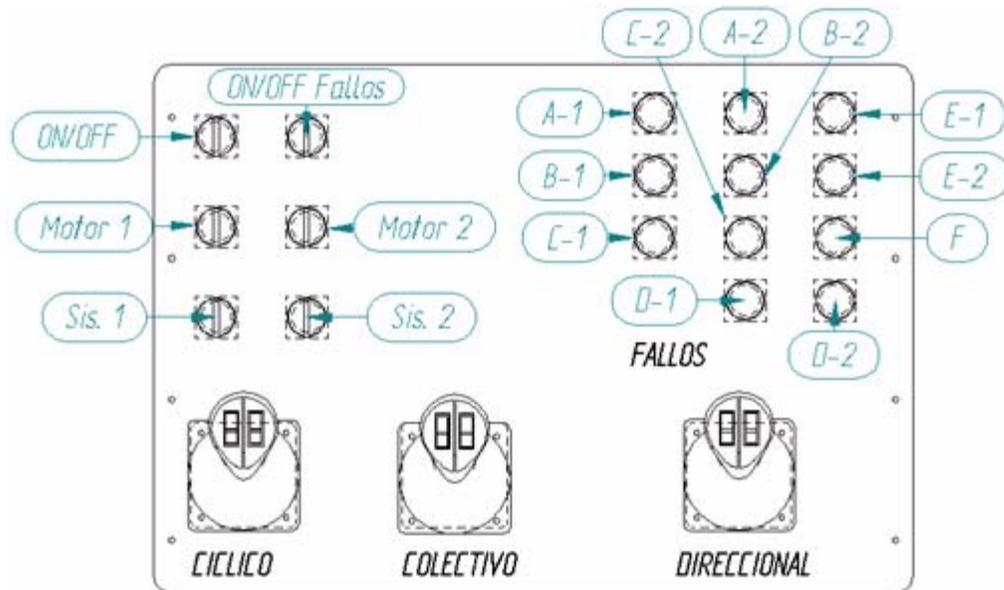
- *Accione los joysticks del cíclico, colectivo y direccional lentamente y observe el comportamiento de los actuadores.*



GUÍA N° 2

BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

- Una vez verifique que el sistema está operando en condiciones normales, proceda a activar el interruptor ON/OFF del sistema de simulación de fallos. El panel de fallos tiene el siguiente aspecto:



- Cada fallo que se simula en el sistema está numerado. Existen fallos similares pero en distintas localizaciones.
- Presione alguno de los pulsadores del panel de fallos en forma aleatoria e identifique el origen del fallo con base al cambio de condición del sistema. Una vez hallada la condición, deduzca las razones más probables por las cuales puede ocurrir la falla. Como ya se conoce el principio de funcionamiento de los componentes y del sistema hidráulico presente en el helicóptero y en el banco, sugiera acciones correctivas o de mantenimiento para su solución.
- Haga las anotaciones respectivas en la siguiente tabla. En la casilla “pulsador”, escriba el interruptor o pulsador accionado. En la casilla “falla”, escríbala y anote además los parámetros que cambiaron con respecto a los de inicio. En las casillas “causa probable y acción correctiva” anote brevemente lo deducido.
- Simule por lo menos 4 fallos diferentes, según lo indique el docente.
- Escriba las conclusiones correspondientes a la práctica.



GUÍA N° 2
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

Tabla de caza fallas:

PULSADOR	FALLA ENCONTRADA	CAUSA PROBABLE	ACCIÓN CORRECTIVA



GUÍA N° 2
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

PULSADOR	FALLA ENCONTRADA	CAUSA PROBABLE	ACCIÓN CORRECTIVA

**ANEXO 4 – MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA**



*MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412*

***MANUAL DE
CONSTRUCCIÓN E
INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO DEL SISTEMA
HIDRÁULICO HELICÓPTERO
BELL 212/412***

**BANCO DEL SISTEMA HIDRÁULICO HELICÓPTERO
BELL 212/412**



***MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412***

INTRODUCCIÓN

El propósito de este manual es guiar y dar soporte a la construcción e instalación de la estructura y algunos componentes que son necesarios de fabricar para el ensamble correcto del Banco del Sistema hidráulico del helicóptero Bell 212/412.

El momento de instalar la estructura y los componentes, las piezas que están dibujadas en los planos de ingeniería ya deben de estar maquinadas y listas para el proceso de armado, al igual que tener a mano los planos los elementos y este manual.



**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412**

LISTADO DE PARTES DE LA ESTRUCTURA:

ESTRUCTURA PRINCIPAL		
Cantidad	P/N	Descripción
1	EP-00A	Subconjunto principal A
1	EP-00B	Subconjunto principal B
1	EP-00	Soldadura del conjunto principal
2	EP-01	Tubería estructural (1"x2") de 100".
2	EP-02	Tubería estructural (1"x2") de 20".
1	EP-03	Tubería estructural (1"x2") de 20".
2	EP-04	Tubería estructural (1"x2") de 15".
2	EP-05	Tubería estructural (1"x2") de 30".
1	EP-06	Tubería estructural (1"x2") de 30".
1	EP-07	Tubería estructural (1"x2") de 30".
1	EP-08	Tubería estructural (1"x2") de 30".
1	EP-09	Tubería estructural (1"x2") de 30".
2	EP-10	Tubería estructural (1"x2") de 90".
8	EP-11	Tubería estructural (1"x2") de 9.2".
2	EP-12	Tubería estructural (1"x2") de 14.85".
2	EP-13	Tubería estructural (1"x2") de 50".
2	EP-14	Tubería estructural (1"x2") de 20".
4	EP-15	Tubería estructural (1"x1") de 15".
2	EP-16	Tubería estructural (1"x1") de 29".
4	EP-17	Tubería estructural (1"x1") de 17".
1	EP-18	Chapa de aluminio C-14.
2	EP-19	Chapa de aluminio C-22.
1	EP-20	Chapa de aluminio C-14.
1	EP-21	Chapa de aluminio C-14.
1	EP-22	Chapa de aluminio C-22.

ESTRUCTURA ACTUADORES		
Cantidad	P/N	Descripción
1	EA-00	Soldadura conjunto de actuadores
4	EA-01	Tubos redondos de acero Calibre C-14, 35"x 1½".
1	EA-02	Soporte inferior de acero.
1	EA-03	Soporte medio de acero para actuadores.

ESTRUCTURA SUPERIOR		
Cantidad	P/N	Descripción
1	ES-00	Soldadura conjunto superior
2	ES-01	Tubería estructural (½"x½") de 60".
1	ES-02	Tubería estructural (½"x½") de 59".
1	ES-03	Tubería estructural (½"x½") de 18.5".
1	ES-04	Tubería estructural (½"x½") de 18.5".



**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412**

3	ES-05	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 23".
2	ES-06	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 23".
2	ES-07	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 23".
1	ES-08	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 23".
6	ES-09	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 8.5".
1	ES-10	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 60".
1	ES-11	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 60".
1	ES-12	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 60".
2	ES-13	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 8.5".
1	ES-14	Chapa de aluminio C-14.
2	ES-15	Chapa de aluminio C-22.
1	ES-16	Chapa de aluminio C-22.
1	ES-17	Chapa de aluminio C-14.
1	ES-18	Chapa de aluminio C-14.
1	ES-19	Chapa de aluminio C-14.
1	ES-20	Chapa de aluminio C-22.
1	ES-21	Chapa de aluminio C-22.

ESTRUCTURA INFERIOR

Cantidad	P/N	Descripción
1	EI-00	Soldadura conjunto inferior
4	EI-01	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 14.25".
3	EI-02	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 17.5".
2	EI-03	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 30".
2	EI-04	Tubería estructural (1/2"x1/2") de 30".
2	EI-05	Chapa de aluminio 1 mm.
1	EI-06	Chapa de aluminio 2 mm.
1	EI-07	Chapa de aluminio 1 mm.
1	EI-08	Chapa de aluminio 1 mm. (EXTERIOR)

TANQUES

Cantidad	P/N	Descripción
1	T1-01	Lámina inferior tanque 1
1	T1-02	Láminas delantera y trasera tanque 1
2	T1-03	Láminas laterales tanque 1
1	T1-04	Tapa tanque 1
1	T1-05	Montura tanque 1
1	T2-01	Lámina inferior tanque 2
1	T2-02	Láminas delantera y trasera tanque 2
1	T2-03	Láminas laterales tanque 2
1	T2-04	Tapa tanque 2
1	T2-05	Montura tanque 2



**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412**

MANIFOLDS		
Cantidad	P/N	Descripción
1	M-01	Manifold "A" sistema hidráulico N° 1
1	M-02	Manifold "A" sistema hidráulico N° 2
1	M-03	Manifold "B" sistema hidráulico N° 1
1	M-04	Manifold "B" sistema hidráulico N° 2
4	M-05	Manifold "C" sistema hidráulico N° 1
3	M-06	Manifold "C" sistema hidráulico N° 2
2	M-07	Manifold "D" sistema hidráulico N° 1 y N° 2
1	AM-01	Ensamble manifold "A" sistema hidráulico N° 1
1	AM-02	Ensamble manifold "A" sistema hidráulico N° 2
1	AM-03	Ensamble manifold "B" sistema hidráulico N° 1
1	AM-04	Ensamble manifold "B" sistema hidráulico N° 2
4	AM-05	Ensamble manifold "C" sistema hidráulico N° 1
3	AM-06	Ensamble manifold "C" sistema hidráulico N° 2
2	AM-07	Ensamble manifold "D" sistema hidráulico N° 1 y N° 2



**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412**

CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO

Al construir la estructura es importante acogerse a un procedimiento con el fin de evitar errores. Se recomienda tener en cuenta lo siguiente:

- Observar las recomendaciones de seguridad (seguridad en el taller y con las herramientas necesarias, seguridad para el manejo de soldadura).
- Asegurarse de que los planos y proceso de instalación están a mano.
- Preparar el equipo y la lista de piezas.
- Seguir la secuencia estipulada del manual de construcción.

Para la instalación correcta de la estructura principal, deben ensamblarse primero los subconjuntos principales:

- Conjunto principal
- Conjunto de actuadores
- Conjunto superior
- Conjunto inferior
- Conjunto de freno

CONSTRUCCIÓN DEL CONJUNTO PRINCIPAL

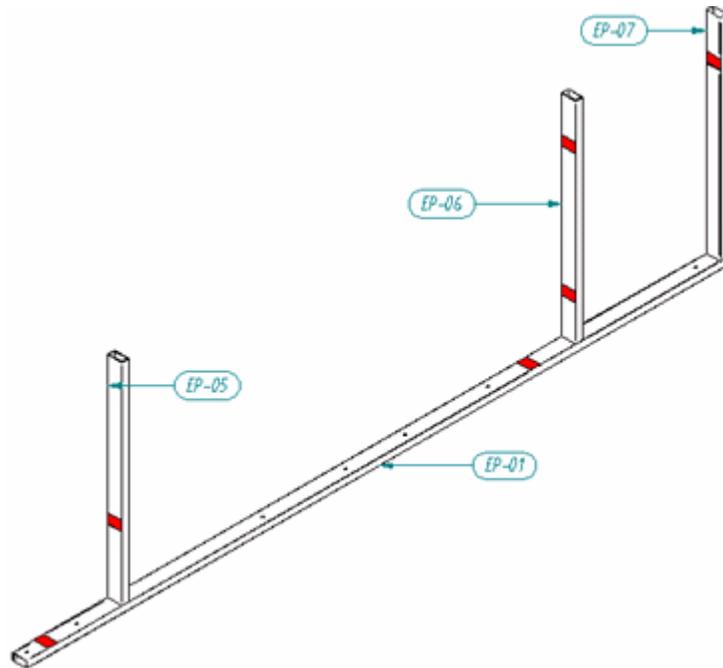
Para instalar correctamente la estructura principal del banco, verifique previamente todos los elementos de la tabla (parte número y cantidad).

Subconjunto EP-1A:

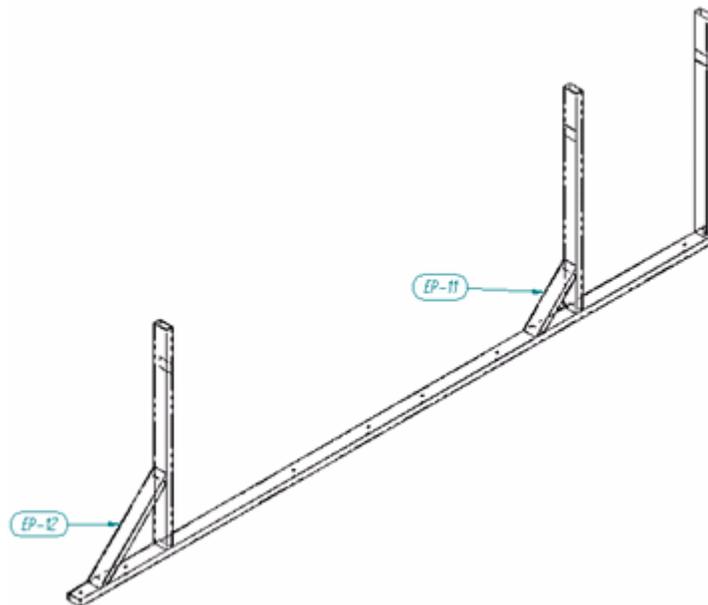
- a. Instale la viga de 90" EP-01 con los maquinados rectangulares hacia arriba y en forma perpendicular suelde las vigas de 30" (EP-05, EP-06 y EP-07). Tenga en cuenta que los maquinados de las vigas de 30" deben quedar como se ilustra en la figura.



MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412



- b. A continuación una con soldadura los elementos EP-11 y EP-12 en ángulo a las vigas perpendiculares, desde los maquinados rectangulares.

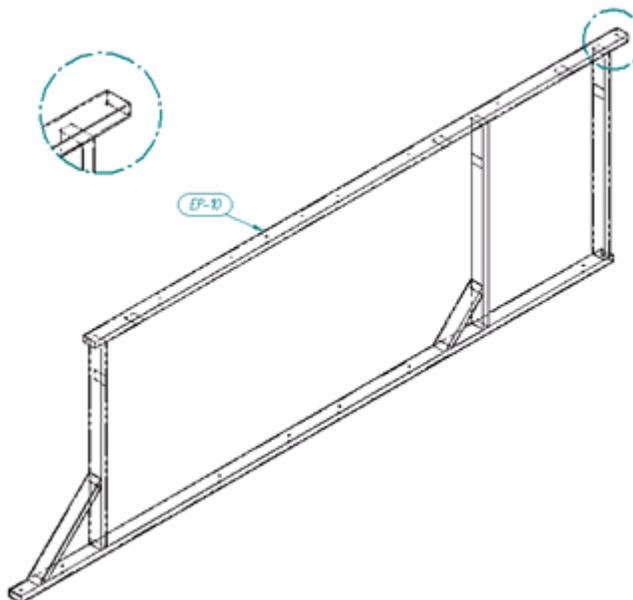


- c. Sitúe y una con soldadura el elemento EP-10 (viga de 100") sobre las vigas verticales y haciendo coincidir los maquinados.

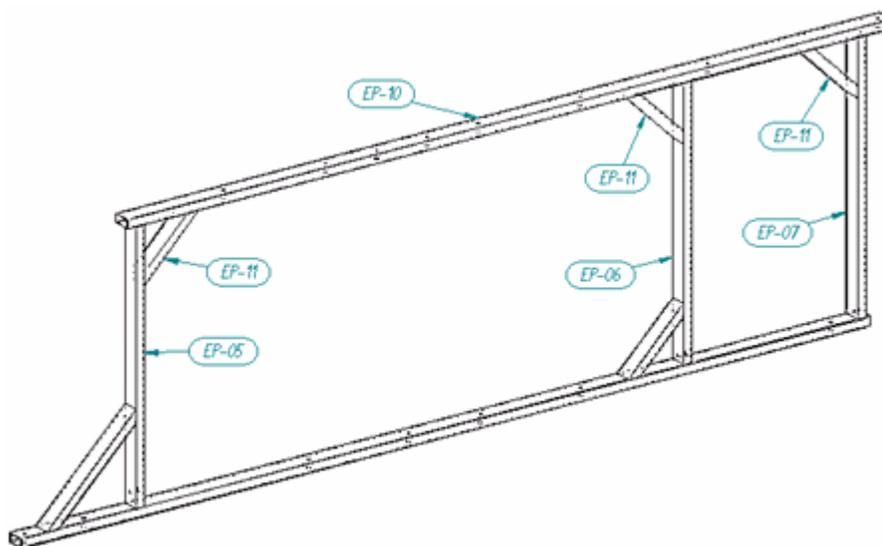


MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

NOTA: El agujero en el elemento EP-10 debe quedar al lado derecho de la estructura.



- d. Suelde en la parte superior 3 elementos de refuerzo EP-11 en ángulo, haciéndolos coincidir con los maquinados de EP-05, EP-06, EP-07 y EP-10.



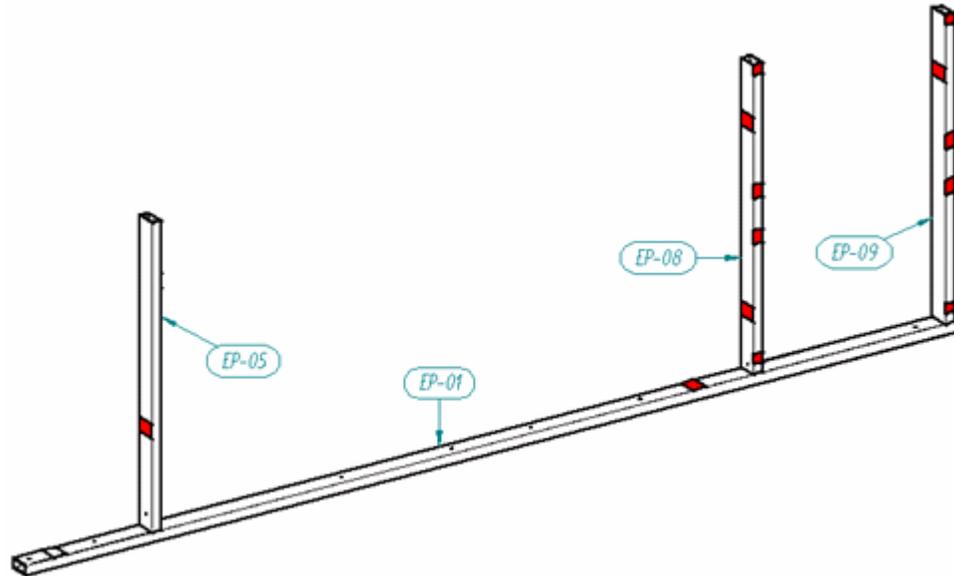
- e. Verifique las medidas con los planos y pula las superficies unidas con soldadura dejando un buen acabado. Aplique pintura en la estructura (opcional).



**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412**

Subconjunto ES-1B:

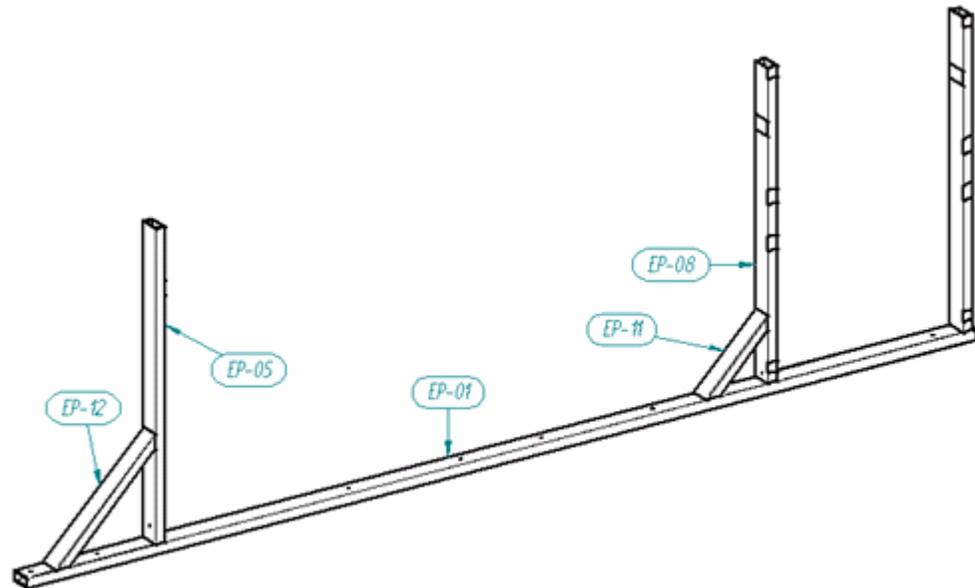
- a. Instale la segunda viga de 90" (EP-01) de la misma forma que en el proceso anterior y suelde los elementos EP-05, EP-08 y EP-09. Los elementos EP-08 y EP-09 deben quedar con los 4 maquinados hacia delante.



- b. Una con soldadura los elementos EP-11 y EP-12 en ángulo a las vigas perpendiculares EP-05 y EP-08, desde los maquinados rectangulares.

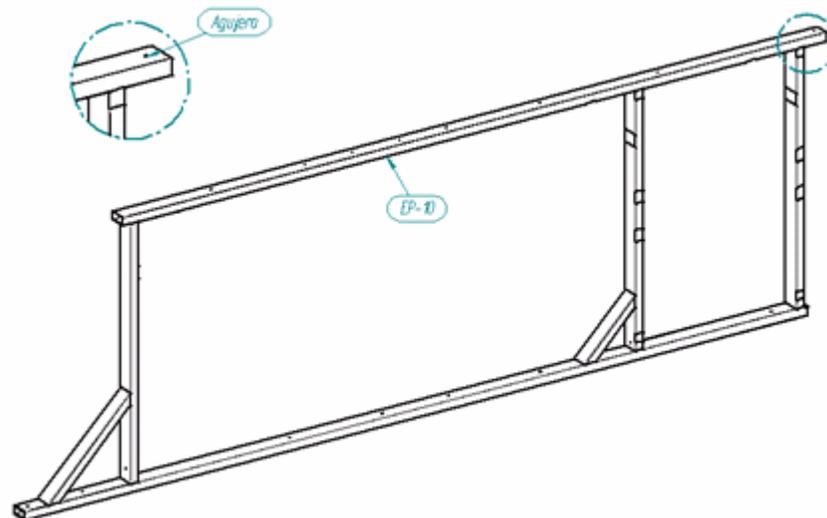


MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412



- c. Una con soldadura el elemento EP-10 (viga de 100") sobre las vigas verticales y haciendo coincidir los maquinados.

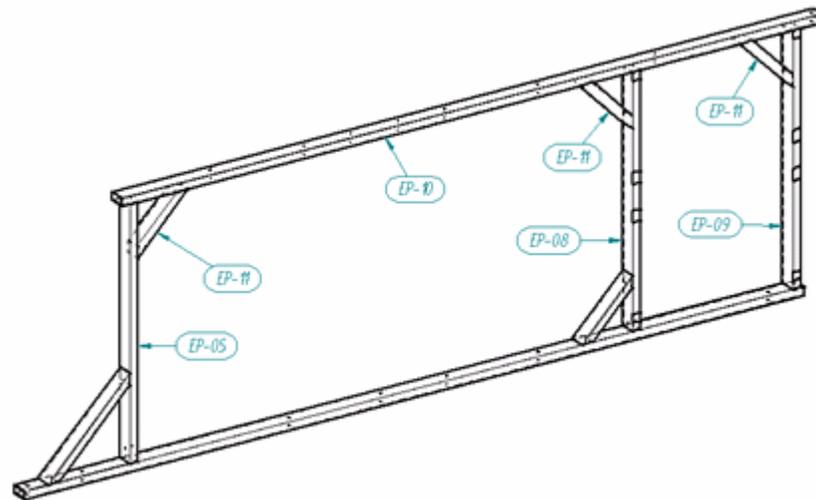
NOTA: El agujero en el elemento EP-10 debe quedar al lado derecho de la estructura.



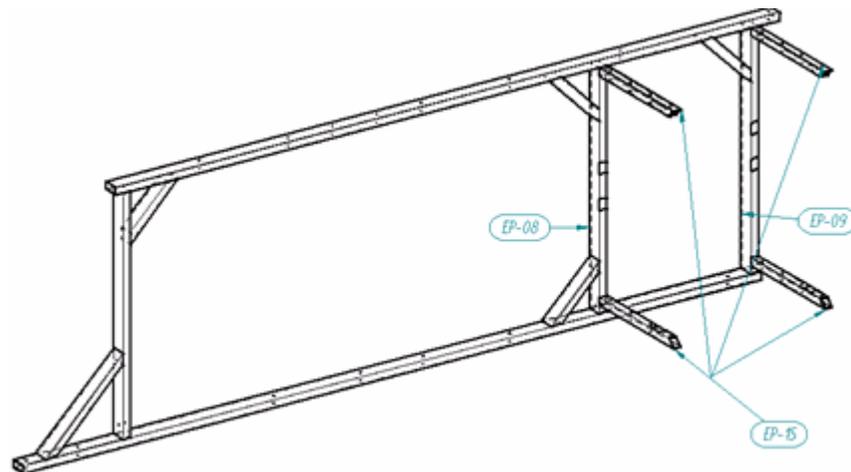
- d. Suelde en la parte superior 3 elementos de refuerzo EP-11 en ángulo, haciéndolos coincidir con los maquinados de EP-05, EP-08, EP-09 y EP-10.



**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412**



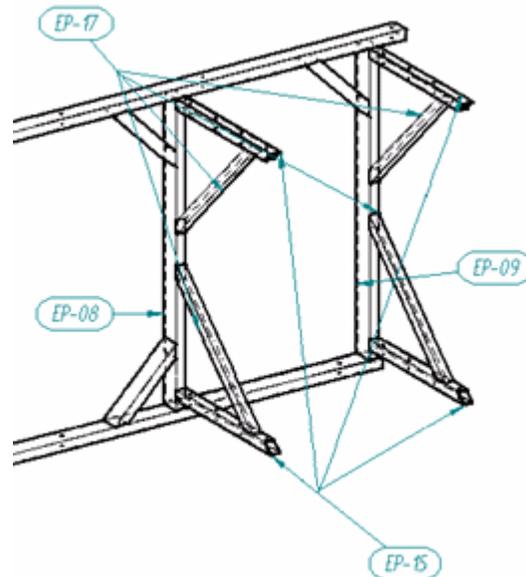
- e. En los maquinados de los extremos de las vigas EP-08 y EP-09, instale de forma perpendicular y una con soldadura los 4 elementos EP-15, de forma que los bordes cortados a 45° queden hacia afuera.



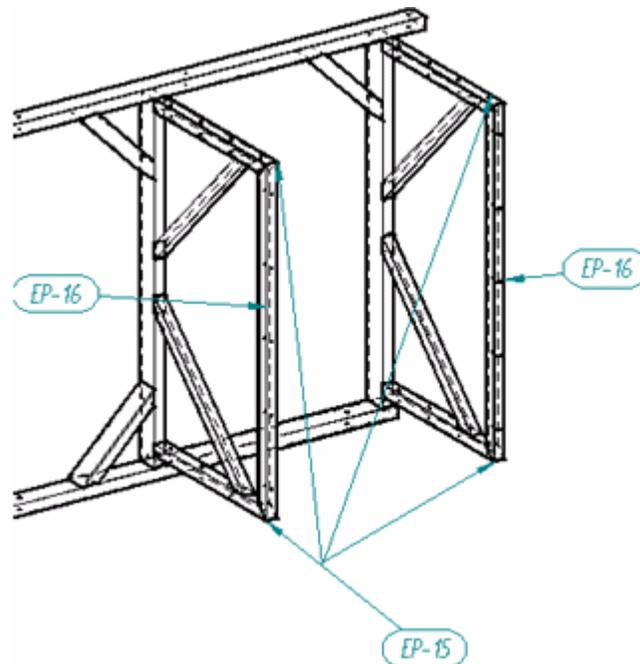
- f. Suelde los 4 refuerzos EP-17 en ángulo, que coincidan con los maquinados de las vigas EP-08, EP-09 y EP-15.



MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412



- g. En los extremos de los elementos EP-15, suelde las dos vigas EP-16 por ambos extremos cortados a 45°.



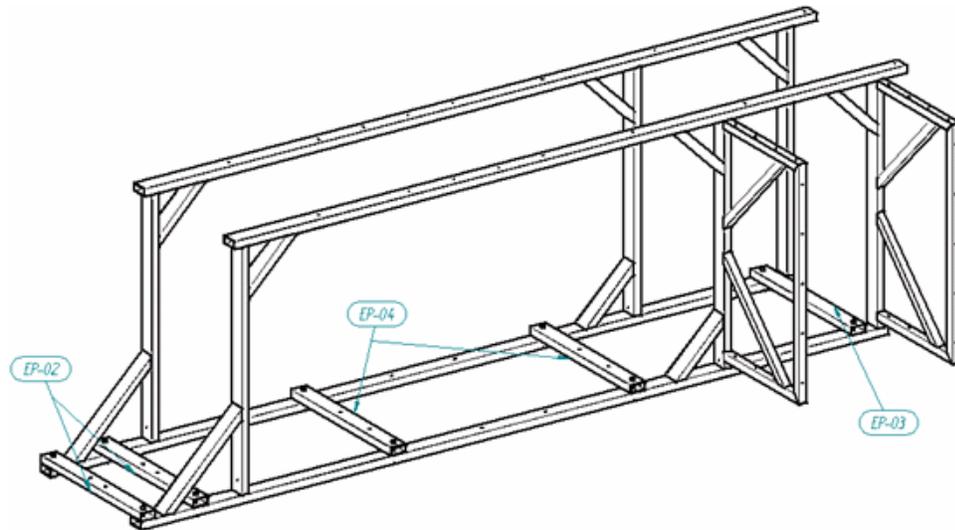
- h. Verifique las medidas con los planos y pula las superficies unidas con soldadura dejando un buen acabado. Aplique pintura en la estructura (opcional).



**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412**

Ensamble de Subconjuntos EP-1A y EP-1B:

- a. Sitúe paralelamente los subconjuntos EP-1A y EP-1B y utilizando los elementos EP-02, EP-03 y EP-04 únalos con tornillos y tuercas de 5/16-18 x 2 1/4".



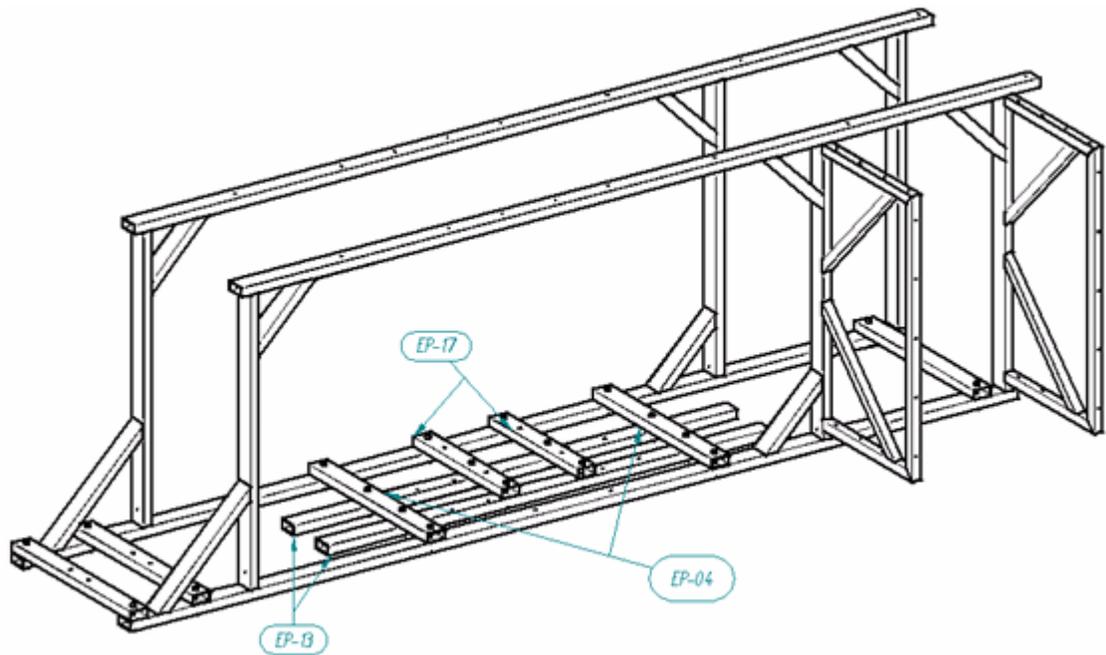
- b. Instale en las vigas EP-04, de forma paralela a los subconjuntos los elementos EP-13, utilizando tornillos y tuercas de 5/16-18 x 2 1/4". Asegure también de los agujeros del medio en el subconjunto EP-1A, las vigas EP-14 hasta los agujeros coincidentes de los elementos EP-13.

NOTA 1: deben quedar visibles 4 agujeros sobre los 2 elementos EP-17.

NOTA 2: deben quedar visibles 4 agujeros sobre los 2 elementos EP-13.



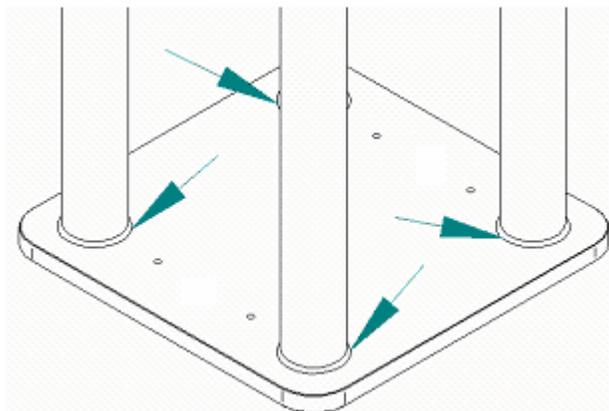
**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412**



CONSTRUCCIÓN DEL CONJUNTO DE ACTUADORES

Para instalar correctamente la estructura de los actuadores, verifique previamente los elementos listados en la tabla (parte número y cantidad).

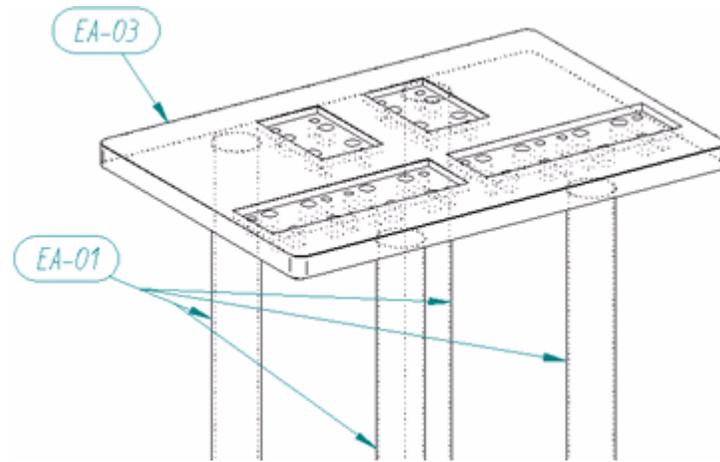
- a. Suelde los cuatro (4) tubos (EA-01) dentro de los agujeros destinados en el soporte inferior (EA-02).



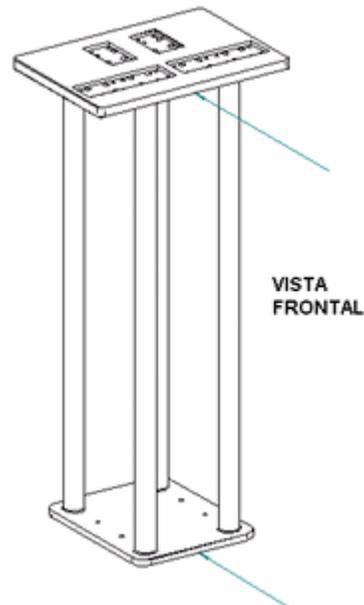
- b. Suelde a continuación la base de actuadores (EA-03) a los tubos en la parte superior.



MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412



NOTA: En el momento de instalar la placa de soporte de los actuadores e insertarla en los tubos, tenga en cuenta que los dos rectángulos más grandes donde van montados los actuadores queden con dirección hacia el frente.



- c. Verifique las medidas con los planos y pula las superficies unidas con soldadura dejando un buen acabado. Aplique pintura en la estructura (opcional).



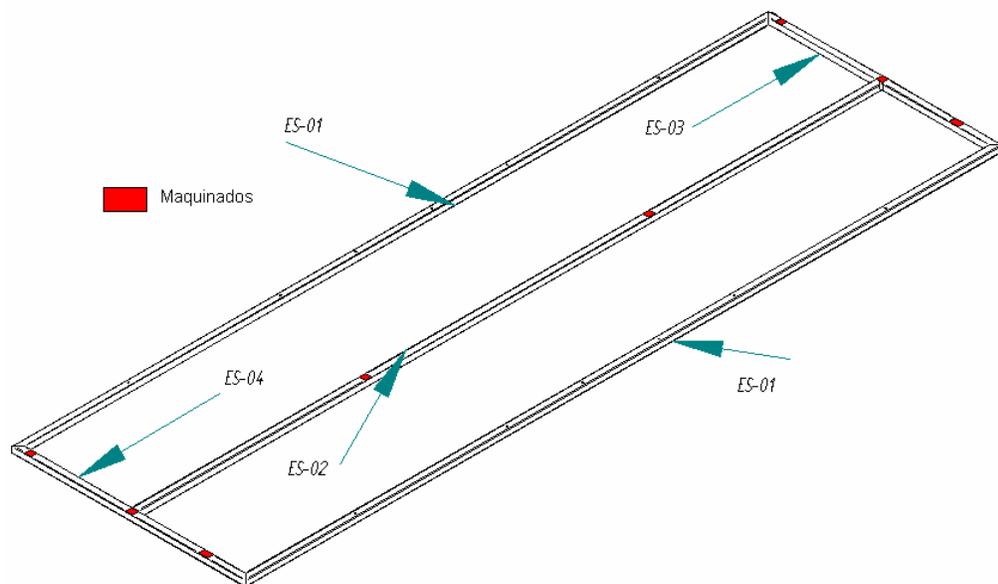
**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412**

CONSTRUCCIÓN DEL CONJUNTO SUPERIOR

Para instalar correctamente la estructura superior, verifique previamente los elementos de la tabla (parte número y cantidad).

NOTA: Todas las vigas de este subconjunto tienen sección transversal de $\frac{1}{2}$ " x $\frac{1}{2}$ " calibre 14 (0.078"), a excepción del elemento ES-12 (1 " x $\frac{1}{2}$ ").

- Posicione en forma paralela los elementos ES-01 y haga coincidir los bordes cortados a 45° con los elementos ES-03 y ES-04. Los 3 maquinados de los elementos ES-03 y ES-04 deben quedar hacia arriba. El elemento ES-02 debe coincidir en el centro con los maquinados interiores. Suelde todas las uniones.

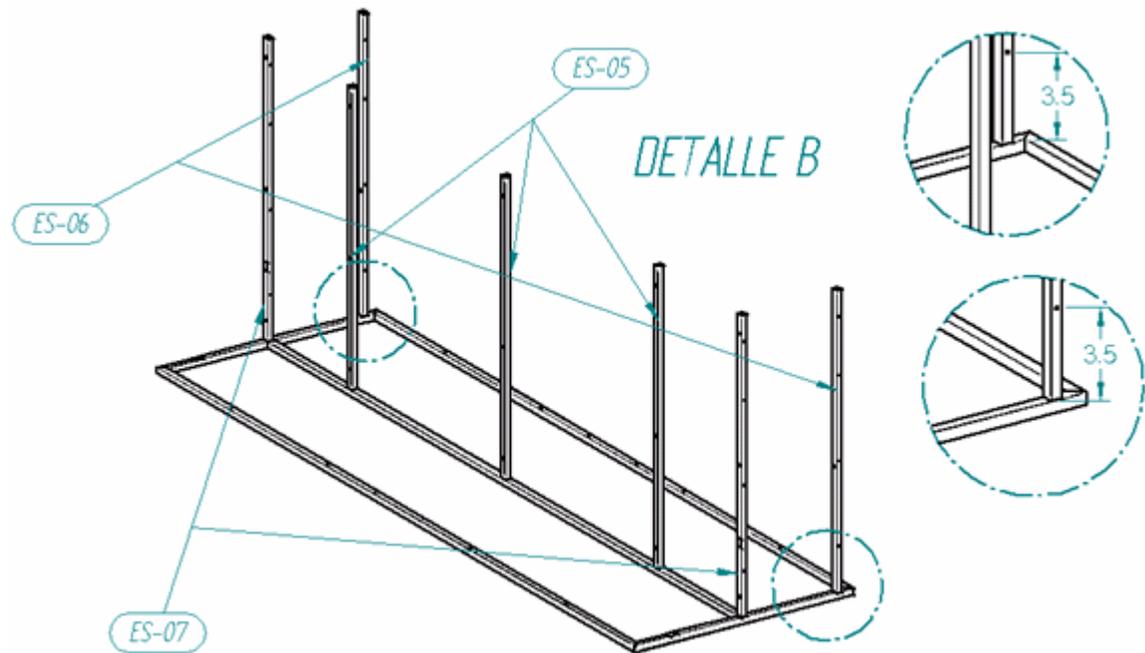


- En las áreas maquinadas, sitúe y suelde a continuación en forma perpendicular los elementos ES-05, ES-06, ES-07. Los elementos ES-07 deben quedar con el maquinado hacia el frente; los elementos ES-05 con sus 3 agujeros hacia el frente y los elementos ES-06 con los 4 agujeros hacia los costados.

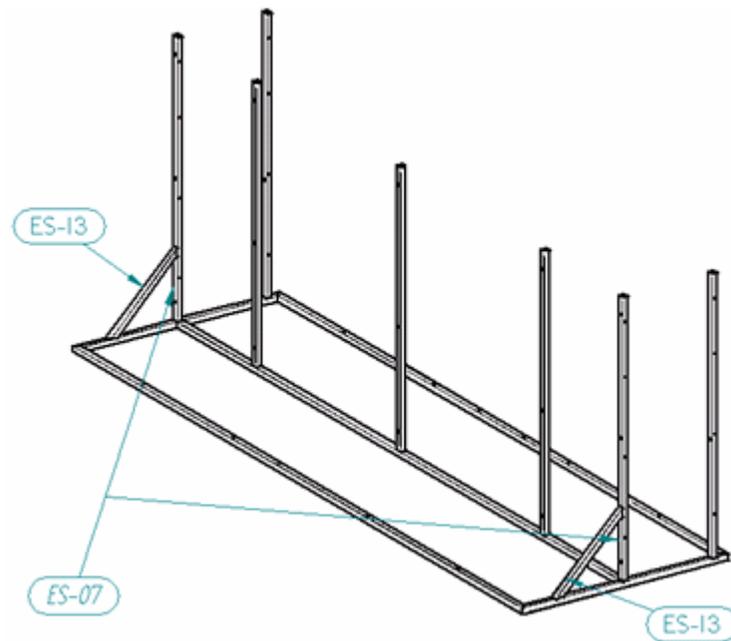
NOTA 3: El elemento ES-06 no tiene simetría en los agujeros, por lo que previamente a aplicar soldadura verifique la medida (3.5 " entre el agujero y el borde del elemento ES-06) que se muestra a continuación:



MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412



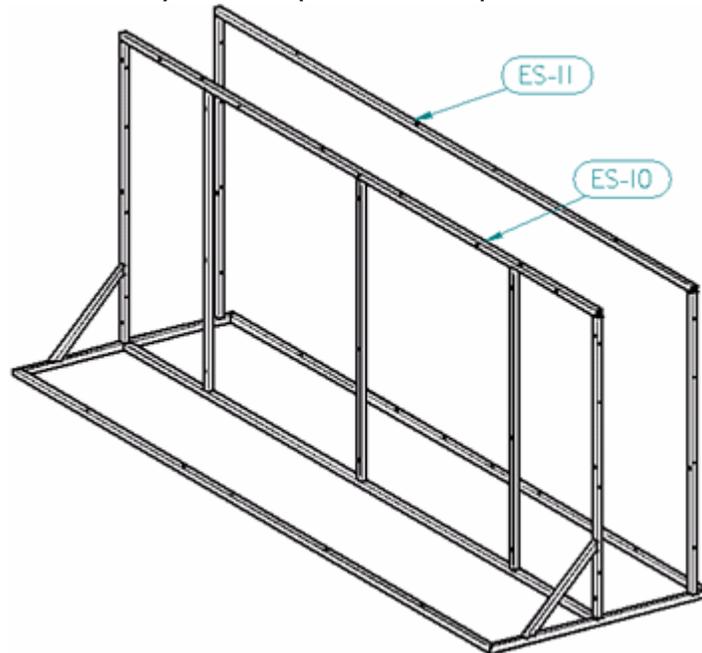
- c. Sobre las vigas ES-07 de la estructura, sitúe y suelde los elementos de refuerzo ES-13 por los bordes cortados a 45°.



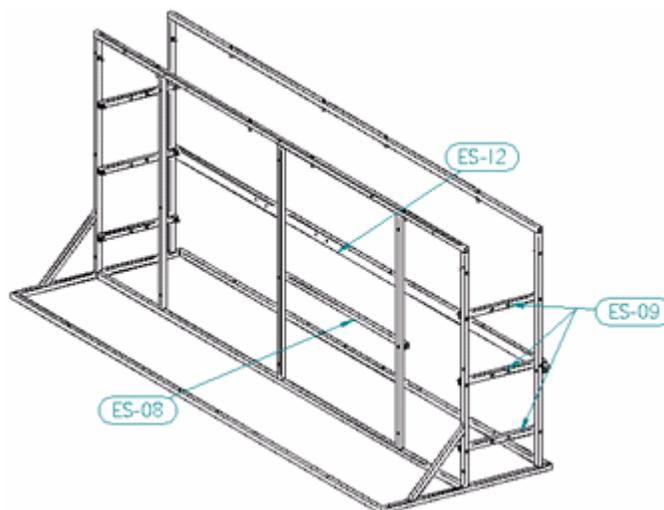


MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

- d. Suelde en los bordes de las vigas ES-05, ES-06 y ES-07 los elementos ES-10 y ES-11 por los maquinados.



- e. Utilice tornillos de 3/16" para asegurar los elementos ES-09 en los costados (instale estos elementos dentro de la estructura). Acople la viga ES-12 en la parte trasera de la estructura. Acople la viga ES-08 en medio de los elementos ES-05, en los agujeros de la mitad.





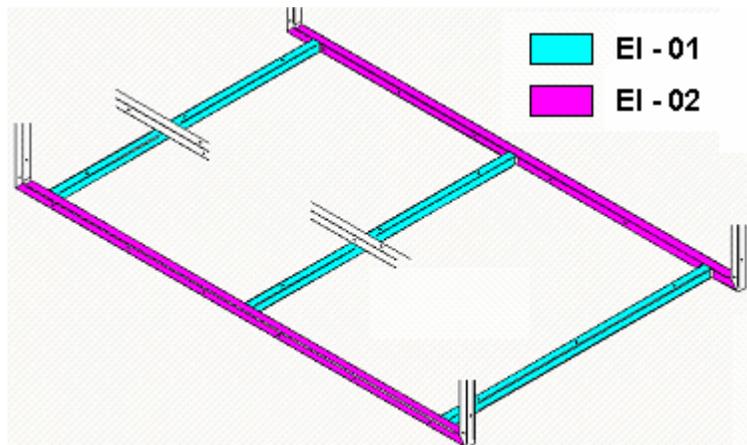
MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

- f. Verifique las medidas con los planos y pula las superficies unidas con soldadura dejando un buen acabado. Aplique pintura en la estructura (opcional).

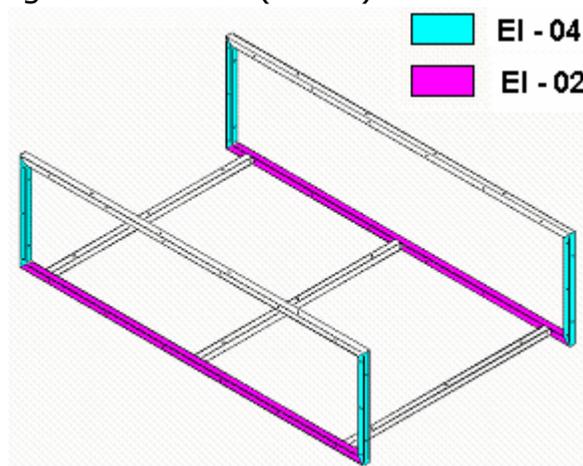
CONJUNTO INFERIOR

Para instalar correctamente la estructura inferior, verifique previamente los elementos de la tabla (parte número y cantidad).

- a. Situar en forma paralela las 2 vigas de 30" (EI-02), de manera que pueda colocar en forma perpendicular los 3 elementos EI-01 (vigas de 17.5") con los agujeros hacia arriba. Suelde las 3 EI-01 perpendiculares a las vigas paralelas (elementos EI-02).



- b. En cada uno de los bordes chaflanados a 45° de las vigas EI-02, sitúe y suelde las 4 vigas de 14.25" (EI-04) también con este mismo corte.





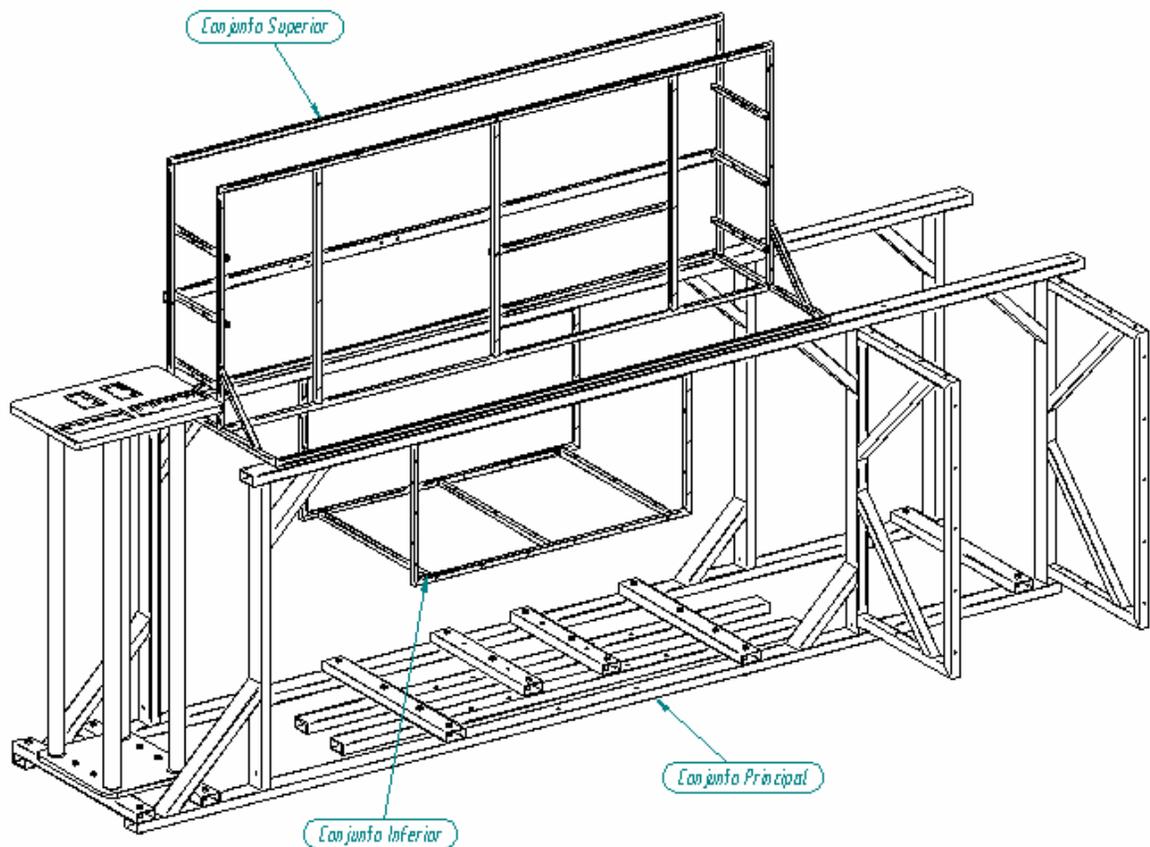
**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412**

- c. Finalmente suelde las 2 vigas de 30" (EI-03) por los terminales a 45°.
- d. Verifique las medidas con los planos y pula las superficies unidas con soldadura dejando un buen acabado. Aplique pintura en la estructura (opcional).

ENSAMBLE DE CONJUNTOS

Para ensamblar la estructura del banco, debe tener los subconjuntos ya instalados.

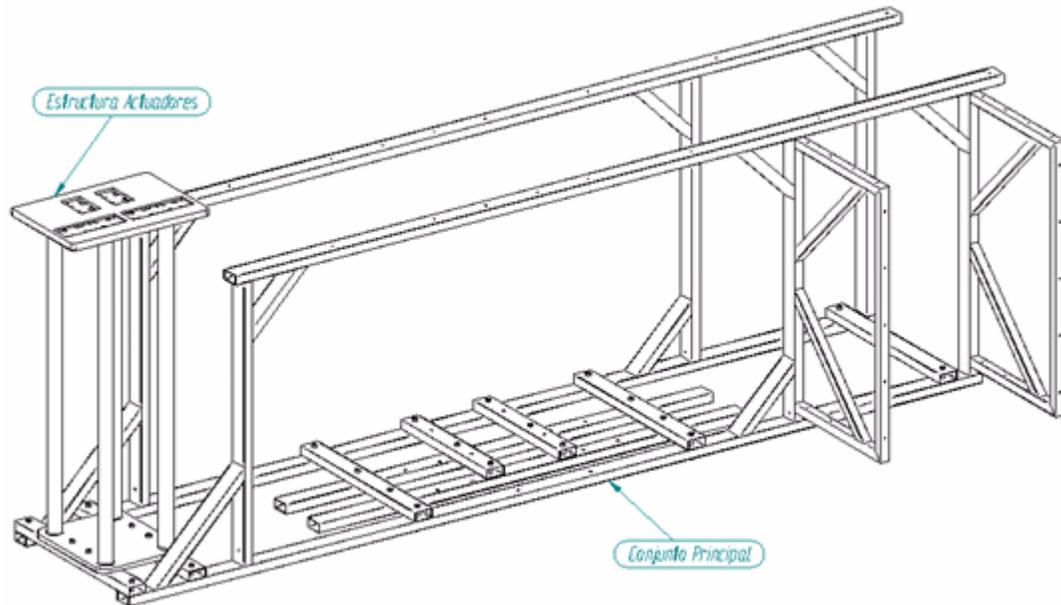
- a. Sobre el conjunto principal, sitúe el conjunto superior haciendo coincidir los agujeros de 3/16". Sitúe tornillos de 3/16" x 2 1/2" en los agujeros. En la parte inferior donde sobresalen los tornillos, sitúe el conjunto inferior y asegure con tuercas. Utilice arandelas para evitar que los tornillos se aflojen.





MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412

- b. Instale en la parte izquierda del conjunto principal, el conjunto de actuadores y sujételo con tornillos de 5/16"x2". Asegúrelos con tuercas y utilice arandelas.



Para la instalación de las chapas en la estructura, se puede llevar el siguiente paso a paso:

Instalación de láminas en el conjunto inferior:

- a. Instale la chapa interior (EI-07) en los agujeros de los elementos EI-01 con tornillos de 3/16" y sujételos con tuercas. Utilice arandelas para evitar que se aflojen los tornillos.
- b. Instale la chapa frontal (EI-06) en los agujeros de los elementos EI-04 con tornillos de 3/16" y sujételos con tuercas. Utilice arandelas para evitar que se aflojen los tornillos.
- c. Instale las chapas laterales (EI-05) en los agujeros de los elementos EI-04 con tornillos de 3/16" y sujételos con tuercas en el extremo. Utilice arandelas para evitar que se aflojen los tornillos.



**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412**

Instalación de chapas en el conjunto superior:

- a. Instale la chapa interior ES-18 en la parte interna de la estructura con tornillos de 3/16" y sujételos con tuercas. Utilice arandelas para evitar que se aflojen los tornillos.
- b. Instale la chapas interior ES-19 en la parte interna de la estructura. Esta chapa debe quedar en la parte intermedia soportada por los elementos con tornillos de 3/16" y sujételos con tuercas. Utilice arandelas para evitar que se aflojen los tornillos.
- c. Instale la chapa frontal ES-14 en los agujeros del frente de la estructura, tornillos de 3/16" y sujételos con tuercas. Utilice arandelas para evitar que se aflojen los tornillos.
- d. Instale las chapas laterales (ES-15) en los agujeros de los costados de la estructura con tornillos de 3/16" y sujételos con tuercas en el extremo. Utilice arandelas para evitar que se aflojen los tornillos.

CONSTRUCCIÓN DE LOS DEPÓSITOS HIDRÁULICOS:

Los tanques del sistema hidráulico, son de construcción sencilla. Están hechos de chapas de acero laminado en caliente, con un espesor calibre C-14 (0.078").

Para la construcción de los tanques se debe llevar el siguiente proceso:

Tanque N° 1:

Para instalar correctamente el tanque N° 1, verifique previamente los elementos de la tabla (parte número y cantidad).

Previamente a la unión de los elementos con soldadura haga lo siguiente:

Maquine uno de los elementos como se muestra en

- a. Posicione como base la lámina T1-01 y en sus bordes sitúe los dos elementos laterales T1-03, uniéndolos con soldadura en la parte interior. Los elementos T1-03 tienen un maquinado distinto. Situelos como se muestra en la figura.



**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412**

- b. Una con soldadura en la parte interna del tanque los elementos frontal y trasero T1-02. Sitúelos como se muestra en la figura.
- c. En el costado derecho del tanque (en la lámina que no posee ningún maquinado), una con soldadura los elementos T1-05. ubíquelos en las esquinas inferiores a tope con el borde de la lámina. Asegúrese que los agujeros queden dispuestos hacia el exterior, puesto que son los montantes a la estructura.
- d. Verifique las medidas con los planos y pula las superficies unidas con soldadura. Aplique primer anticorrosivo únicamente en el exterior del tanque.

Tanque N° 2:

Para instalar correctamente el tanque N° 2, verifique previamente los elementos de la tabla (parte número y cantidad).

Previamente a la unión de los elementos con soldadura haga lo siguiente:

- a. Posicione como base la lámina T2-01 y en sus bordes sitúe los dos elementos laterales T2-03, uniéndolos con soldadura en la parte interna. Los elementos T2-03 tienen un maquinado distinto. Sitúelos como se muestra en la figura.
- b. Una con soldadura en la parte interna del tanque los elementos frontal y trasero T2-02. Sitúelos como se muestra en la figura.
- c. En el costado derecho del tanque (en la lámina que posee agujeros), una con soldadura los elementos T2-05. Ubíquelos en las esquinas inferiores a tope con el borde de la lámina. Asegúrese que los agujeros queden dispuestos hacia el exterior, puesto que son los montantes a la estructura.
- d. Verifique las medidas con los planos y pula las superficies unidas con soldadura. Aplique primer anticorrosivo únicamente en el exterior del tanque (opcional).



**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412**

ENSAMBLE DE ELEMENTOS EN EL TANQUE:

Los tanques llevan instalados distintos elementos del sistema hidráulico, con propósitos de trabajo (acople en el agujero de succión, acople de los puertos de retorno, acople del respiradero – llenado, visor de nivel) y para montar la válvula de alivio y la válvula solenoide de retorno.

Depósito N° 1:

- En el agujero de 1 7/16, instale el acople (bulkhead) de succión. Utilice sellos para evitar fugas y asegure bien la tuerca del pasamuros.
- En los agujeros de 13/16" en la parte posterior instale los acoples (bulkhead) de retorno. Utilice sellos para evitar y asegure bien las tuercas del pasamuros.
- En los agujeros de 1/4", instale la válvula solenoide de retorno, utilizando tornillos 1/4-20 de 2" de longitud. Asegúrelos y utilice empaques para evitar fugas.
- Instale en los 4 agujeros del costado izquierdo del tanque, la montura de la válvula de alivio utilizando tornillos de 1/4-20 de 5/8" de longitud. Utilice empaques para evitar fugas.
- Instale los visores de nivel en los agujeros del costado izquierdo.
- En la tapa del tanque, sitúe y asegure el respiradero con los tornillos correspondientes.

Depósito N° 2:

- En el agujero de 1 3/16, instale el acople (bulkhead) de succión. Utilice sellos para evitar fugas y asegure bien la tuerca del pasamuros.
- En los agujeros de 13/16" en la parte posterior instale los acoples (bulkhead) de retorno. Utilice sellos para evitar y asegure bien las tuercas del pasamuros.
- En los agujeros de 1/4" en la parte posterior, instale la válvula solenoide de retorno, utilizando tornillos de 1/4-20 de 2" de longitud. Asegúrelos y utilice empaques para evitar fugas.
- Instale en los 4 agujeros del costado derecho del tanque, la montura de la válvula de alivio utilizando tornillos de 1/4-20 de 5/8" de longitud. Utilice empaques para evitar fugas.
- Instale los visores de nivel en los agujeros del costado derecho.



***MANUAL DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE LA
ESTRUCTURA
BANCO SISTEMA HIDRÁULICO DEL HELICÓPTERO BELL 212/412***

- En la tapa del tanque, sitúe y asegure el respiradero con los tornillos correspondientes.

ANEXO 5 – MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

NOTA: Hacer clic en el título para abrir el manual en formato PDF.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se logró concluir el diseño general del banco mostrando detalladamente todos sus componentes, las dimensiones, formas de montaje de componentes hidráulicos, y un concepto muy detallado de la máquina por medio de su construcción en el software Solid Edge V19.
- Se diseñó el diagrama hidráulico que corresponde al sistema hidráulico del helicóptero Bell 212/412, utilizando componentes netamente industriales y logrando la misma operación con la posibilidad de simular fallos en el sistema desde un panel de control. El control de los elementos como válvulas y actuadores es completamente eléctrico como en el caso del helicóptero, donde la operación es directamente en cabina. El banco es además completamente didáctico, donde se puede construir el sistema y realizar las conexiones eléctricas directamente.
- El documento cuenta con todos los cálculos de diseño del sistema como presiones de operación, caudales, pérdidas, elección de componentes hidráulicos en su totalidad (bombas, válvulas, electro-válvulas, actuadores, controladores, amplificadores, sensores, instrumentos de medición, acoples, y líneas) eléctricos (motor, arranques y protección, accionadores, etc.) y estructurales.
- Se elaboraron los planos detallados de la estructura del banco del sistema, indicando cada una de las piezas por parte número, maquinados pertinentes, formas de ensamble y construcción. Adicionalmente se diseñaron algunas piezas que son indispensables para la montura y función del sistema hidráulico con sus respectivos planos de construcción, ensamble e instalación.

- Se diseñaron los manuales del banco. El primer manual es de construcción y ensamble de la estructura que con indicaciones de sentido común, y que retroalimentado con los planos de las piezas, indica de una forma sencilla su ensamble. El segundo manual es de operación y mantenimiento, donde indica al usuario, la correcta conexión, operación, caza fallas, prácticas de mantenimiento tales como inspecciones periódicas y programa de mantenimiento.
- Se elaboraron 2 guías de laboratorio para que los estudiantes realicen prácticas en la banco. Las guías están elaboradas para que los estudiantes realicen las conexiones del banco tanto hidráulicas como eléctricas, conozcan el funcionamiento básico del sistema del helicóptero y simulen fallos que pueden ocurrir durante un vuelo y en sistemas hidráulicos convencionales.
- Se realizó una evaluación financiera de todos los elementos que conforman el banco, distinguiendo materiales, componentes hidráulicos, eléctricos y demás objetos necesarios para una futura construcción.
- El banco del sistema hidráulico del helicóptero Bell 212/412 es una innovación tecnológica para el aprendizaje de los estudiantes en conceptos de sistemas hidráulicos controlados por medios eléctricos como lo son las servo-válvulas, válvulas solenoide, válvulas proporcionales, etc. y enfocado en el área de helicópteros.
- La utilización de un banco que simula el sistema hidráulico de un helicóptero, fortalece y cerciora los conceptos en cuanto a sistemas de control servo-mecánico, electro-hidráulico y proporcional que actualmente aeronaves como helicópteros poseen.

BIBLIOGRAFÍA

- BELL 212 TRAINING PILOT MANUAL – Chapter 11 Main Rotor System, Chapter 12 Tail Rotor System, Chapter 13 Hydraulic Power Systems, Chapter 14 Flight Controls.
- Bell 412 Series COMPONENT REPAIR AND OVERHAUL MANUAL VENDOR DATA BOOK 1 of 2, Chapter 29 Hydraulic System.
- Robert L. Mott, P.E., 1992, Diseño de Elementos de Máquinas, University of Dayton, (2ª Edición).
- M. F. Spotts, 1999, Elementos de Máquinas, 7ª edición.
- José Velasco Sales, 1994, Diccionario Aeronáutico Civil y Militar (Inglés-Español), Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, Centro de Estudios Aeronáuticos.
- Munson Young Okiishi, 1999, Fundamentos de Mecánica de Fluidos, Universidad Estatal de Iowa.
- http://hydraulics.eaton.com/products/menu_main.htm
- <http://www.parker.com/Catalogs/>
- <http://www.engnetglobal.com/tips/glossary.aspx?word=UNDERLAP>
- http://www2.tech.purdue.edu/at/courses/at308/Technical_Links/Ac43-13_1B/CH9_2.pdf
- [http://www.exxon.com/USAEnglish/Lubes/Product_Information/Hydraulic Oils_Collection.asp](http://www.exxon.com/USAEnglish/Lubes/Product_Information/Hydraulic_Oils_Collection.asp)
- http://www.solomantenimiento.com/acc_hidraulico.htm
- <http://www.ferrasa.com/content.aspx?cid=16>
- <http://www.industrialdepoleas.com/>
- <http://www.eleinlimitada.com>
- www.supplytecltda.com
- www.eatonvickerscolombia.com
- www.hyco.com.co

- <http://www.westarco.com/paginas/AceCar.htm>
- <http://www.agp.com.co/motores/embragues.html>
- http://www.bostongear.com/literature/lit_available.asp?family=clutches
- <http://www.alumina.com.co/productos/>
- <http://www.infomecanica.com/materiales.htm>