



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PONTIFICIA**  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBAS DE CILINDROS  
TELESCÓPICOS DE LEVANTE DE TOLVAS EN CAMIONES  
MINEROS**

**Tesis para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico,  
que presenta el bachiller:**

**José Gabriel Munayco Ormeño**

**ASESOR: Dipl. Ing. Benjamín Barriga Gamarra**

Lima, setiembre de 2017



*Dedicada a mis padres y a mi hermano,  
quienes me dieron su apoyo  
incondicional, tuvieron la paciencia de  
educarme y me inculcaron con su ejemplo  
de trabajo.*

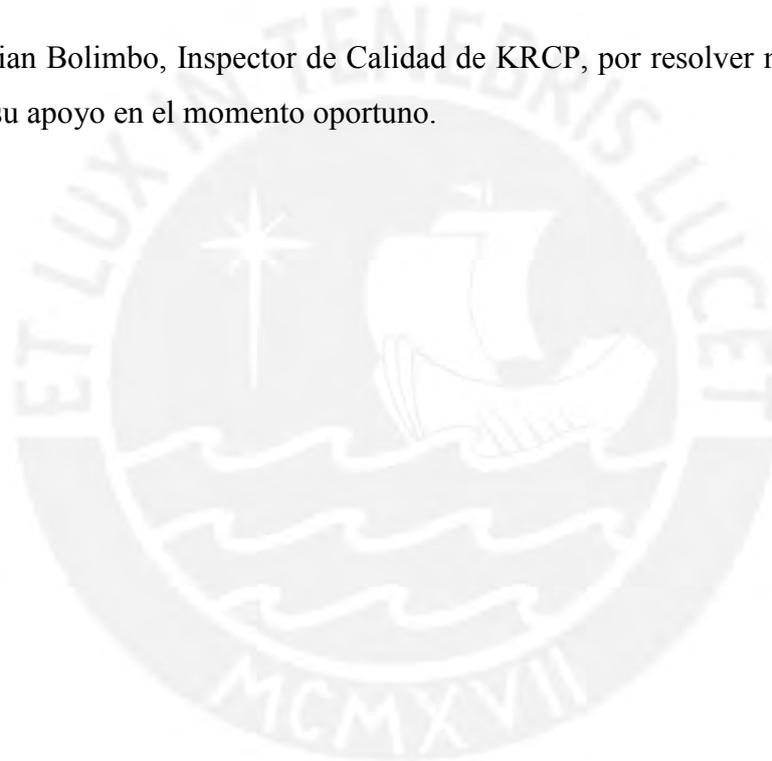
## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Benjamín Barriga, Asesor de la tesis, por su orientación y la amable dedicación de su tiempo.

Al Ing. Eduardo Mata, Gerente de Ingeniería y Procesos de KRCP, por alentarme a desarrollar un proyecto que solucione un problema real en la empresa donde realicé mis prácticas pre-profesionales.

Al Ing. Antonio Veliz, Jefe de Logística Operacional de KRCP, por sus consejos y preocupación por mi avance académico y profesional.

A Cristian Bolimbo, Inspector de Calidad de KRCP, por resolver mis consultas y darme su apoyo en el momento oportuno.



## RESUMEN

El proyecto tuvo como objetivo lograr la automatización de la prueba en cilindros telescópicos. Con la automatización se logra: disminuir el tiempo de prueba, tener un estándar de pruebas que verifiquen la integridad de los cilindros, y desarrollar las pruebas con la mínima intervención del usuario.

El proceso de prueba se desarrolla tomando como referencia la norma SAE J1334 “Hydraulic Cylinder Integrity Test” y parámetros internos de la empresa proveedora de los cilindros. No obstante, para efectos de la automatización fue necesario establecer variables cuantificables como indicadores de la calidad del cilindro (fugas internas, fugas externas). Para el diseño del concepto preliminar se consideraron bancos que operen tanto de forma asistida o automática y sistemas que puedan ejecutar la secuencia de operaciones definida. Es necesario el desarrollo de un concepto preliminar pues establece las condiciones limitantes para la automatización y la elección de componentes.

El desarrollo de esta tesis está organizado del siguiente modo: Análisis contextual, en este capítulo se describe de forma específica el componente que se desea probar y el sistema al que pertenece; adicionalmente se muestran los procesos desarrollados actualmente en taller asociados al sistema de levante. Estado de la tecnología, en este capítulo se hace un estudio de sistemas similares que desarrollen pruebas en cilindros hidráulicos y las consideraciones que se tomaron en su diseño. Diseño conceptual, se desarrolla la secuencia de operación del sistema, y en base a esta se determina los componentes que se requieren para automatizar la prueba; se evalúan los posibles conceptos y se llega a una solución óptima por medio de un análisis técnico económico. Selección de componentes, una vez alcanzado el concepto definitivo, se determina de forma específica que componentes se van a utilizar, se comprueba que los componentes tengan un rango de acción acorde a las variables del sistema. Programación del controlador, se desarrolla el programa de control del sistema usando el software TIA PORTAL para interactuar con PLC's de la marca SIEMENS, se muestra la lógica previa a la programación y los diagramas de flujo. Planos y estimación de costos, en este capítulo se presentan los planos eléctricos e hidráulicos del sistema, seguidamente se estima el costo final del proyecto. Conclusiones y recomendaciones, finalmente se concluye el alcance que tuvo la tesis y se plantean recomendaciones sobre el proceso de pruebas planteado.



## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

Título : **AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBAS DE CILINDROS  
TELESCÓPICOS DE LEVANTE DE TOLVAS EN CAMIONES  
MINEROS**

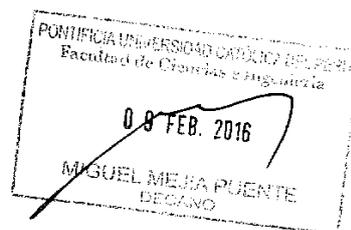
Asesor : Ing. Benjamín Barriga Gamarra

Alumno : Jose Gabriel Munayco Ormeño

Código : 20111139

Tema N° : # 118

Fecha : 19 de noviembre del 2015



### Descripción y Objetivos

La propuesta de este tema de tesis nace ante la necesidad de desarrollar y automatizar un proceso de pruebas de cilindros hidráulicos telescópicos usado en camiones mineros. La automatización permitirá facilitar y beneficiar el proceso de reparación del componente ya que su prueba se dará bajo estándares internacionales e internos de la empresa. La prueba de este componente tiene como ventaja evitar sobrecostos al tener que reparar el componente por reclamo de garantía, ya que él es entregado habiendo sido certificado por la prueba. Actualmente, el procedimiento para pruebas en cilindros telescópicos de levante se desarrolla en instalaciones en el extranjero de la empresa proveedora de los camiones, donde cuentan con un banco de pruebas de cilindros hidráulicos que se opera de forma manual.

Por ello, se propone desarrollar un trabajo de tesis para automatizar las pruebas de estos cilindros para los modelos de camiones que operan en el Perú, teniendo como base la estructura de un banco que ya opera de forma manual en las instalaciones de la empresa en el extranjero:

El objetivo principal de este sistema es el de automatizar las pruebas en los cilindros de levante con la intervención mínima del usuario. Las pruebas se basan en estándares establecidos por la norma SAE J1334, según la cual se cuantificarán las variables que verifiquen la calidad de las pruebas en dichos cilindros. Como objetivos específicos se determinará la secuencia de pruebas en cilindros telescópicos usando equipos que permitan medir y registrar sus parámetros. A la vez, se seleccionarán los componentes necesarios para automatizar el sistema y se desarrollará la programación de un controlador.



R



**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBAS DE CILINDROS TELESCÓPICOS DE  
LEVANTE DE TOLVAS EN CAMIONES MINEROS**

Introducción

1. Antecedente
2. Diseño conceptual
3. Selección de componentes
4. Programación del controlador
5. Planos y costos

Recomendaciones y conclusiones

Bibliografía

Anexos

Ing. Benjamín Barriga Gamarra  
Asesor



*R*

Señores:  
Pontificia Universidad Católica del Perú  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Sección de Ingeniería Mecatrónica  
Presente.

A través del presente documento, Komatsu Mitsui Maquinarias Perú S.A. autoriza el uso de la información que produjo el señor José Gabriel Munayco Ormeño durante los años 2016 y 2017 en el desarrollo de su tesis denominada AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBAS DE CILINDROS TELESCÓPICOS DE LEVANTE DE TOLVAS DE CAMIONES MINEROS para su beneficio profesional y el de la compañía. Se autoriza el uso de la misma solamente con fines académicos.

El señor Munayco labora en esta empresa desde 23 de Marzo del 2015 hasta la fecha, entre principales funciones destacan la elaboración de proyectos y diseño de mejoras del área de reparación de componentes (KRCP), requiriendo como información de entrada: planos hidráulicos, medidas de partes y especificaciones del sistema hidráulico de los camiones eléctricos modelos 730, 830. La misma que sirvió para el desarrollo de sus tesis en la Pontificia Universidad Católica del Perú, esto es de nuestro completo conocimiento y contaba con nuestra aprobación durante todo el periodo.

Se autoriza el uso de las especificaciones de los sistemas mencionados para la investigación desarrollada, así como los valores de prueba específicos que se requieren para la automatización del banco de pruebas hidráulicas.

KOMATSU-MITSUI MAQUINARIAS PERU S.A.

EDUARDO MATA Lf  
Gerente Ingeniería de Procesos & Control

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág
INDICE DE CONTENIDO .....	i
INDICE DE TABLAS .....	iii
INDICE DE FIGURAS .....	iv
LISTA DE SÍMBOLOS .....	vi
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>I. ANTECEDENTES .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Análisis Contextual .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.1. Cilindros Telescópicos de simple efecto .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.2. Camiones de extracción Komatsu .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.2.1. Sistema de Levante de tolva en Camiones 730-830E .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.2.2. Cilindros de levante camiones 730 y 830 .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.3. Procesos realizados en el taller KRCP .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.4. Pruebas en cilindros telescópicos .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2. Estado de la Tecnología .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.1. Pruebas automatizadas en cilindros telescópicos-Dana's Corp .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.2. BAT-H 35-4- AF Automazione .....</b>	<b>12</b>
<b>1.3. Lista de Requerimientos .....</b>	<b>14</b>
<b>II. DISEÑO CONCEPTUAL .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1. Determinación de la secuencia de operaciones: .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2. Estructura de funciones .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3. Matriz Morfológica .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4. Diseño Conceptual: .....</b>	<b>26</b>
<b>2.5. Evaluación técnica económica de Conceptos: .....</b>	<b>32</b>
<b>III. SELECCIÓN DE COMPONENTES .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1. Consideraciones previas y selección de componentes .....</b>	<b>36</b>
<b>IV. PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR .....</b>	<b>60</b>
<b>4.1. Filosofía de control .....</b>	<b>60</b>
<b>4.2. Secuencia de control en PLC Siemens S7-1200 .....</b>	<b>72</b>
<b>V. PLANOS Y COSTOS .....</b>	<b>83</b>

<b>5.1. Diagrama hidráulico y planos eléctricos.....</b>	<b>83</b>
<b>5.2. Presupuesto del proyecto.....</b>	<b>90</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>93</b>
<b>OBSERVACIONES.....</b>	<b>95</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>96</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>97</b>



## Índice de Tablas

Tabla 1.	Dimensiones de cilindros .....	13
Tabla 2.	Parámetros de prueba .....	13
Tabla 3.	Lista de exigencias .....	14
Tabla 4.	Matriz morfológica.....	24
Tabla 5.	Valor económico de los conceptos de solución .....	34
Tabla 6.	Valor económico de los conceptos de solución .....	34
Tabla 7.	Tipos de sensores de posición .....	38
Tabla 8.	Fuentes de potencia hidráulica .....	44
Tabla 9.	Valores de área y fuerza para Dvástago= 320 mm .....	49
Tabla 10.	Puertos de entrada y salida del controlador .....	51
Tabla 11.	Consumo de corriente en el PLC .....	53
Tabla 12.	Módulo de señales S7-1200.....	54
Tabla 13.	Consumo de potencia .....	57
Tabla 14.	Variables del sistema .....	71
Tabla 15.	Variables escalamiento de la presión en el cilindro de pruebas .....	74
Tabla 16.	Variables propias del cilindro.....	75
Tabla 17.	Formato reporte de prueba.....	82
Tabla 18.	Lista esquema hidráulico .....	84
Tabla 19.	Presupuesto componentes locales.....	90
Tabla 20.	Presupuesto de componentes por importación .....	91
Tabla 21.	Presupuesto por servicios .....	92
Tabla 22.	Presupuesto Total del proyecto .....	92

## Índice de Figuras

Fig 1.	Vista en corte de cilindro telescópico genérico .....	3
Fig 2.	Cilindro montado totalmente contraído .....	4
Fig 3.	Camión Minero 830 .....	4
Fig 4.	Operación del sistema de levante-posición inicial y final .....	5
Fig 5.	Componentes del circuito de levante .....	5
Fig 6.	Esquema del cilindro de levante .....	7
Fig 7.	Retiro del vástago de la tercera etapa .....	8
Fig 8.	Posicionamiento de la prensa y desplazamiento de la 2° etapa .....	8
Fig 9.	Montaje del vástago en el proceso de armado. ....	9
Fig 10.	Prueba de pandeo .....	10
Fig 11.	Ciclo de pruebas en el banco .....	10
Fig 12.	Sistema integrado de banco de pruebas para cilindros telescópicos .....	12
Fig 13.	BAT-H 35-4 .....	13
Fig 14.	Secuencia de operaciones.....	20
Fig 15.	Estructura de funciones .....	23
Fig 16.	Concepto 1.....	27
Fig 17.	Concepto 2.....	29
Fig 18.	Concepto 3.....	31
Fig 19.	Evaluación Técnico-Económica.....	35
Fig 20.	Transductor de presión: HM20-1X .....	37
Fig 21.	Medidas cilindro 730.....	37
Fig 22.	Potenciómetro de Hilo: MPS-L-P .....	39
Fig 23.	Fugas internas en cilindros de levante 730-830 .....	40
Fig 24.	Transductor de flujo .....	41
Fig 25.	Dispositivo de salida 4-20 mA con display.....	41
Fig 26.	Circuito Hidráulico de levante .....	42
Fig 27.	Lista de componentes del circuito hidráulico.....	43
Fig 28.	Válvula de alivio proporcional con realimentación de posición.....	45
Fig 29.	Válvula distribuidora RE 23178.....	46
Fig 30.	Válvula distribuidora DS162C .....	47
Fig 31.	Diámetro interior del cilindro.....	48
Fig 32.	Esquema de dimensiones en cilindros hidráulicos.....	49
Fig 33.	Diagrama de bloques PLC.....	52
Fig 34.	Conexiones PLC S7-1200 (Michie, 2016) .....	54
Fig 35.	Módulo SM 1231 .....	55
Fig 36.	Módulo SM 1232 .....	55
Fig 37.	Visualizador HMI: KPT 600 .....	56
Fig 38.	Fuente de alimentación HRP-200-24 .....	58
Fig 39.	Parada de emergencia.....	58
Fig 40.	Relé de estado sólido: EL100D10-05 .....	59
Fig 41.	Diagrama de flujo: programa principal .....	61
Fig 42.	Diagrama de flujo: Selección del modelo del cilindro .....	62
Fig 43.	Diagrama de Flujo: Carga de Datos de prueba .....	63
Fig 44.	Diagrama de flujo: Setear sistema en reposo .....	64

Fig 45.	Diagrama de Flujo: Aplicar carga sobre cilindro .....	65
Fig 46.	Diagrama de flujo: Ciclo de desplazamiento del cilindro .....	66
Fig 47.	Diagrama de flujo: Prueba de fugas internas .....	68
Fig 48.	Diagrama de flujo: Prueba de fugas externas.....	70
Fig 49.	Escalamiento de la lectura del sensor de desplazamiento .....	72
Fig 50.	Escalamiento del transductor de presión .....	73
Fig 51.	Escalamiento del transductor de caudal .....	73
Fig 52.	Escalamiento de la presión medida por transductor.....	74
Fig 53.	Bloque de función: Escalamiento.....	75
Fig 54.	Asignación de variables .....	76
Fig 55.	Segmento 1, bloque de función: Sistema en reposo.....	77
Fig 56.	Bloque función: Ciclo de desplazamiento del cilindro .....	77
Fig 57.	Bloque de Función: Prueba de fugas internas .....	78
Fig 58.	Prueba de fugas internas: Determinar caudal máximo.....	78
Fig 59.	Bloque de función: prueba de fugas externas.....	79
Fig 60.	Determinar caída de presión.....	80
Fig 61.	Imagen de supervisión.....	81
Fig 62.	Circuito hidráulico.....	85
Fig 63.	Puertos Digitales .....	86
Fig 64.	Circuito de Contactores y solenoides .....	87
Fig 65.	Entradas Analógicas .....	87
Fig 66.	Circuito escalamiento del potenciómetro.....	88
Fig 67.	Salidas Analógicas .....	89

## LISTA DE SÍMBOLOS

$L_{ext}$	: Longitud de cilindro extendido	[mm]
$L_{ret}$	: Longitud de cilindro retraído	[mm]
$R_{sensor}$	: Rango mínimo del sensor	[mm]
$P_{max}$	: Presión máxima	[PSI o bar]
$P_{OP}$	: Presión de operación	[PSI o bar]
$D_{pistón}$	: Diámetro del pistón del cilindro	[mm]
$d_{vástago}$	: Diámetro del vástago	[mm]
$Area_{pistón}$	: Área del pistón del cilindro	[ $mm^2$ ]
$F_k$	: Carga de pandeo	[N]
$F_{res}^{max}$	: Fuerza máxima resultante	[N]
$E$	: Módulo de elasticidad	[ $N/mm^2$ ]
$I$	: Momento de inercia	[ $mm^4$ ]
$L_p$	: Longitud libre de pandeo	[mm]
$h$	: Carrera.	[mm]

## INTRODUCCIÓN

En los últimos cinco años, el sector de minería e hidrocarburos ha producido entre el 9% y el 15% del PBI Global en el Perú (INEI, 2016). Así mismo, pese a la condición de incertidumbre de los últimos años debido a la reducción en el precio de los metales, el sector minero salvaguardó el 60% del crecimiento en el PBI peruano durante el 2016 (Diario Gestión, 2016). Estos registros de la participación minera en la economía, reflejan que la inversión y producción de este sector son fundamentales para el desarrollo sostenible del país.

En el contexto actual, la baja en el precio de los metales ha generado que las empresas mineras tengan reajustar sus destinos de inversión con el fin de mantener sus márgenes de ganancia. Este hecho se puede evidenciar si se comparan los montos de inversión el año 2012 (\$ 5,042,796,000) y el año 2015 (\$ 3,562,777,000) en los destinos de equipamiento minero, exploración, explotación e infraestructura (INEI, 2016). La reducción en el financiamiento de equipos mineros en los últimos años ha generado que las empresas presten mayor énfasis a los procesos de mantenimiento y estándares de calidad en la reparación de sus equipos de maquinaria pesada.

Por este motivo, las empresas dedicadas al mantenimiento de maquinaria pesada tienen la obligación garantizar la confiabilidad de sus procesos de reparación de los componentes mineros, para de esta forma reducir en lo posible la tasa de falla de los componentes y la parada del equipo en operación, hecho que genera una gran cantidad de pérdida monetaria.

Con base a esta necesidad, Komatsu Mitsui Maquinarias Perú (KMMP), empresa líder en el mantenimiento de maquinaria pesada y en base a cuya información se elabora este documento, tiene como objetivo realizar pruebas de funcionamiento u operación de los componentes críticos que se reparan. Los principales componentes que reparan en KMMP corresponden a los camiones eléctricos, ya que son los que participan en mayor número durante el ciclo de acarreo en la gran minería. La empresa cuenta con un banco de pruebas eléctricas para el test de la parte de generación y potencia del camión: alternador y motores eléctricos. Así mismo, hace uso de un banco hidráulico para la prueba de bombas, cilindros, válvulas, transmisiones, etc. Sin embargo, pese a esta infraestructura implementada, existe un componente para cuya prueba se requiere un sistema especial, tal es el caso de los cilindros de levante.

Los cilindros de levante son los que modifican la inclinación de la tolva, por lo cual, son un componente crítico en la operación de carga y descarga del camión. El funcionamiento del cilindro de levante depende principalmente de dos factores: la alimentación de la bomba de levante en la extensión del cilindro y el peso de la tolva para la retracción de sus etapas. Por ello, para probar de forma fehaciente el cilindro, se requiere de una fuente de potencia hidráulica, pero además de un sistema que genere una fuerza acorde a las condiciones de operación que produzca la retracción del cilindro. Actualmente la empresa no cuenta con un sistema de este

tipo, razón por la cual no puede ejecutar las pruebas según los parámetros que establece el fabricante y las normas internacionales. La falta de pruebas en los cilindros de levante, ocasiona que los estándares de reparación de estos cilindros no sean los óptimos y se presenten casos de garantía interna en los que la empresa tiene que asumir completamente los gastos que se ocasionan al fallar el componente en operación. Es por esas razones que el proyecto de tesis tuvo el objetivo de definir el protocolo de pruebas para los cilindros de levante, y automatizar el proceso de prueba de la misma.

La propuesta tiene cómo alcance los modelos de cilindros correspondientes a los principales camiones que operan actualmente en el Perú. Así mismo, el diseño mecánico y el de la fuente de potencia hidráulica que tendrá el sistema no forman parte del alcance de esta tesis, ya que el enfoque está centrado en el proceso de prueba y su automatización, por lo que estos puntos solo se abordarán de forma conceptual. Por ello se tendrá como referencia la estructura de un banco que opera de forma manual en la sucursal de Komatsu en Chile, sede principal en la región.

Automatizar permite brindar una mayor calidad de reparación de los componentes con una mínima intervención del usuario. Para efectos de la automatización se determinarán los sensores y actuadores que verifiquen y actúen sobre las variables del sistema respectivamente. A la vez, la integración y control de estos componentes se dará por medio de un controlador en el que se cargará la secuencia de operación.

El objetivo principal de este sistema es el de automatizar las pruebas en los cilindros de levante con la intervención mínima del usuario. Las pruebas se basan en estándares tanto internacionales como en parámetros internos de la empresa. Para efectos de la automatización, se cuantificarán variables que verifiquen la calidad de las pruebas en dichos cilindros. A la vez este proyecto sentará una referencia positiva para formular más soluciones tecnológicas a los procesos de taller que requieran una gran labor o precisión del técnico.

El método usado para el diseño y selección de componentes que permitan la automatización es el VDI 2225. En el capítulo 1 se presente el sistema de levante del camión. A la vez se revisan los estándares internacionales de prueba para cilindros y se registra información de equipos desarrollados que cumplan funciones similares. El capítulo 2 comprende el diseño conceptual del sistema de acuerdo a los requerimientos planteados. Seguidamente, se desarrolla la evaluación técnica económica de las propuestas elaboradas para la elección del modelo más viable. En el capítulo 3 se procedió con la selección de componentes para la automatización de acuerdo al modelo seleccionado en el capítulo anterior. El capítulo 4 muestra la integración de todos los componentes seleccionados con las variables del sistema por medio de la programación del controlador para cada etapa de prueba de los cilindros. Seguidamente, en el capítulo 5 se muestra el detalle de los planos hidráulicos y eléctricos de los componentes del sistema, asimismo se presenta toda la proyección de costos que tendría asociada la implementación del sistema. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto.

# CAPÍTULO 1

## ANTECEDENTES

En el capítulo 1, se abordaron las definiciones necesarias para el dimensionamiento y limitación del proyecto. Se inicia presentando a los cilindros telescópicos y el sistema de levante de los camiones de extracción. Así mismo, se revisan las normas internacionales vigentes para prueba de cilindros y el estándar de prueba de cilindros de la empresa fabricante. Seguidamente se muestran sistemas patentados que cumplan la función de prueba de cilindros, esta información forma parte del estado de la tecnología del proyecto. Como parte final del primer capítulo se elaboró la lista de requerimientos con los que se diseñó el sistema.

### 1.1. Análisis Contextual

#### 1.1.1. Cilindros Telescópicos de simple efecto

Los cilindros telescópicos son cilindros hidráulicos que se caracterizan por tener un mayor recorrido o carrera que otro tipo de cilindros debido a que su vástago está formado de varias secciones concéntricas con diámetros menores sucesivos que encajan una dentro de otro (Fig. 1). Este tipo de diseño permite que la longitud con el vástago contraído varíe entre el 20% y 40% de su longitud extendida (Hitchcox, 2006). Por ello, este cilindro es utilizado en aplicaciones de levante o volteo con gran altura de elevación, o donde el espacio de montaje está limitado.

Normalmente se prescinde del sistema de contracción o retorno ya que es el peso propio de las partes móviles de la máquina quien genera la fuerza de descenso (Dürr, 1975), en estos casos se usa cilindros telescópicos de simple efecto. Sin embargo, si no se cuenta con una fuerza en el extremo del cilindro, es necesario el uso de cilindros de doble efecto.

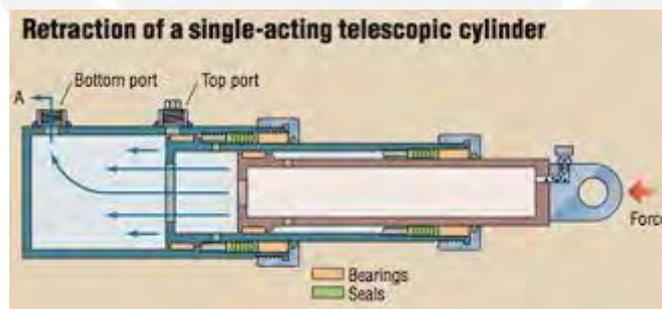


Fig 1. Vista en corte de cilindro telescópico genérico  
Fuente: Hitchcox, 2006



*Fig 2. Cilindro montado totalmente contraído*  
*Fuente: (Komatsu Anglo American, Chile, 2007)*

### **1.1.2. Camiones de extracción Komatsu**

Son camiones tolva con sistema de volcado trasero y habilitados para trabajos todoterreno. Estos camiones están específicamente diseñados para trabajos de construcción y minería de gran producción, ya que su capacidad de transporte varía entre 180 a 360 toneladas (Komatsu Anglo American, Chile, 2007). Por ello, estos camiones tienen alta demanda en regiones de extracción minera. Actualmente, el Perú cuenta con más de 1000 camiones de extracción de la marca Komatsu.

Considerando su alto costo de compra y operación, estos camiones se someten de 3 a 4 procesos de mantenimiento u overhauling a lo largo de su vida útil (Komatsu Anglo American, Chile, 2007). En el mantenimiento, los componentes del camión son evaluados y partir de ello se determina cuáles serán reemplazados por repuestos nuevos, reconstruidos o reparados. Debido a la necesidad de estas reparaciones, los servicios de mantenimiento y post venta son una parte esencial y rentable en las empresas que se dedican a la maquinaria pesada. En el sistema de volcado de estos camiones intervienen cilindros telescópicos según se especifica a continuación:



*Fig 3. Camión Minero 830*  
*Fuente: (Komatsu Anglo American, Chile, 2007)*

#### **1.1.2.1. Sistema de Levante de tolva en Camiones 730-830E**

El levante es producido por 2 cilindros hidráulicos telescópicos de 3 etapas, montados sobre rotulas tanto en el bastidor del camión como en base de la tolva (Komatsu American Corp, 2001). El accionamiento del sistema es controlado desde la cabina del operador por una válvula piloto.

La válvula piloto de operación cuenta con 5 posiciones: tolva sobre chasis, levante de tolva, posición fija, descenso de tolva por carga y descenso de tolva con potencia.

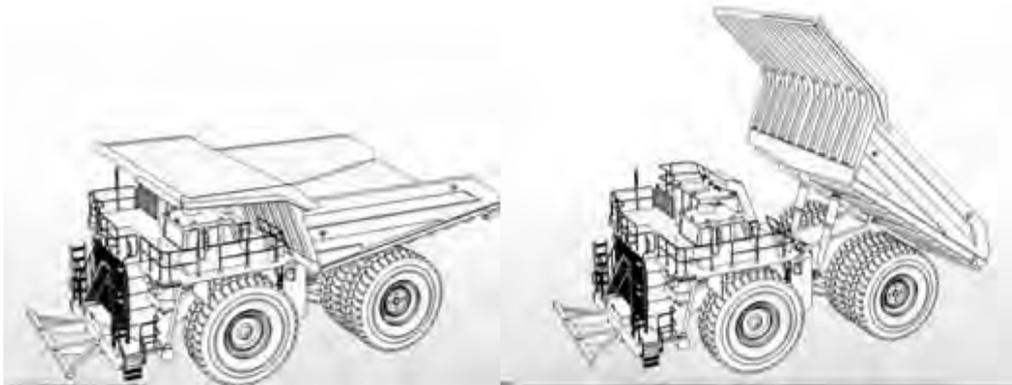


Fig 4. Operación del sistema de levante-posición inicial y final  
Fuente: (Komatsu Anglo American, Chile, 2007)

El sistema de levante está conformado por los siguientes componentes básicos mostrados en el siguiente circuito hidráulico esquemático.

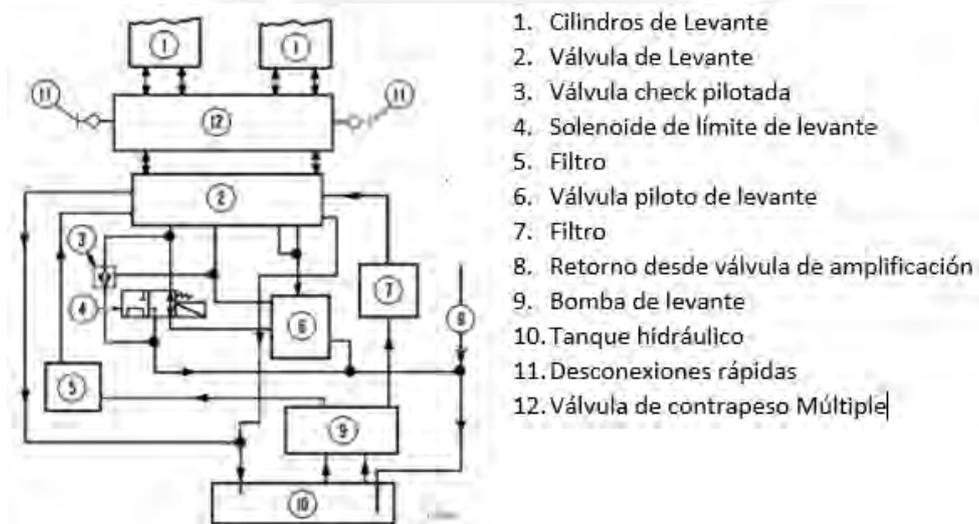


Fig 5. Componentes del circuito de levante  
Fuente: (Komatsu American Corp, 2001)

El aceite es suministrado por el tanque hidráulico (10) y es direccionado hacia una bomba de engranajes (9). La salida de la bomba se conduce a dos filtros de alta presión (5 y 7) para luego llegar a la válvula de levante (2). Dependiendo de la posición de la válvula piloto (6), la válvula de levante bloqueará el paso del aceite o lo conducirá hacia los cilindros de levante (1), causando el levante o descenso de la tolva según sea el caso. Además, el solenoide de límite de levante (4) previene que los cilindros lleguen a su máximo extensión permitida al bloquear su alimentación cuando la tolva llega a su altura máxima. Asimismo, la válvula de contrapeso (12), previene desplazamientos abruptos de los cilindros. (Komatsu American Corp, 2001)

En el modo de operación tolva sobre chasis la válvula piloto se encuentra en una posición neutra, dejando el paso libre del flujo hacia el tanque, además la válvula

de levante se bloquea el paso del flujo hacia los cilindros, por lo que el flujo retorna al tanque hidráulico con una presión mínima, evitando así pérdidas en el circuito.

En la posición de levante, la válvula piloto desplaza las válvulas de levante y conecta el pasaje de alta presión hacia el puerto de entrada de los cilindros de levante, causando la extensión de los mismos. La operación se ve condicionada por la válvula de alivio, fija a una presión de 2500 PSI (172,4 bar), y los solenoides de límite de levante, que indican cuándo los cilindros alcanzan su máxima posición permitida.

La operación de descenso de la tolva se puede ejecutar de dos formas: descenso flotante y descenso con potencia. En la posición flotante, la válvula piloto posiciona a la válvula de levante en una posición neutral, de forma que los puertos de presión y tanque están comunicados. Al no haber flujo direccionado hacia los cilindros, el peso de la tolva genera la retracción de los mismos. De esta manera se logra el descenso de la tolva aprovechando la fuerza de gravedad y evitando la pérdida de potencia. En la bajada con potencia, la válvula de levante conecta el ducto de alta presión con el terminal de retorno de los cilindros. Esto permite aumentar la velocidad de bajada de la tolva. La presión en la bajada con potencia se ve limitada por la válvula de alivio fijada a 1500 PSI (103,4 bar).

En la posición bloqueo, los ductos de retorno en la válvula de levante son bloqueados, por lo que la posición de los cilindros queda fijada. El flujo es direccionado directamente hacia el tanque. Para mayor referencia acerca del circuito hidráulico general del sistema de levante, consultar con el anexo 4 de este documento.

#### **1.1.2.2. Cilindros de levante camiones 730 y 830**

El cilindro de levante de estos camiones consta de tres etapas sucesivas que de forma extendida alcanza los 3.65 m y retraído ocupa 1.45 m aproximadamente. El cilindro tiene dos cámaras de aceite aisladas y dos puertos de entrada/salida de aceite, bajo estas características el cilindro podría ser considerado como un cilindro telescópico de doble efecto, sin embargo su modo de operación lo limita a un cilindro de simple efecto, ya que es principalmente por el peso de la tolva que se genera su retracción. En el caso de la bajada con potencia, este modo de operación permite controlar la velocidad de bajada de la tolva, pese a ello la principal fuerza que genera el descenso sigue siendo el peso de la tolva.

A continuación se muestra un esquema de los cilindros de levante correspondiente a los camiones eléctricos principales que se reparan en KRCP (Komatsu Rebuild Center Perú).

c. Esquema del cilindro de levante.

1. Vástago Tercera Etapa
2. Cilindro de Segunda Etapa
3. Cilindro de Primera Etapa
4. Carcasa
5. Placa arandela
6. Pistón
7. Perno (12 puntos)
8. Sello
9. Anillo de Retención
10. Cubierta
11. Pernos
12. Anillo de Goma
13. Buje de fibra
14. Buje de fibra
15. Sello
16. Sello
17. Buje de fibra
18. Sello Amortiguador
19. Buje de fibra
20. Sello de aceite
21. Sello limpiador
22. Conjunto de la Vaina
23. Anillo de Respaldo
24. Anillo, amortiguador

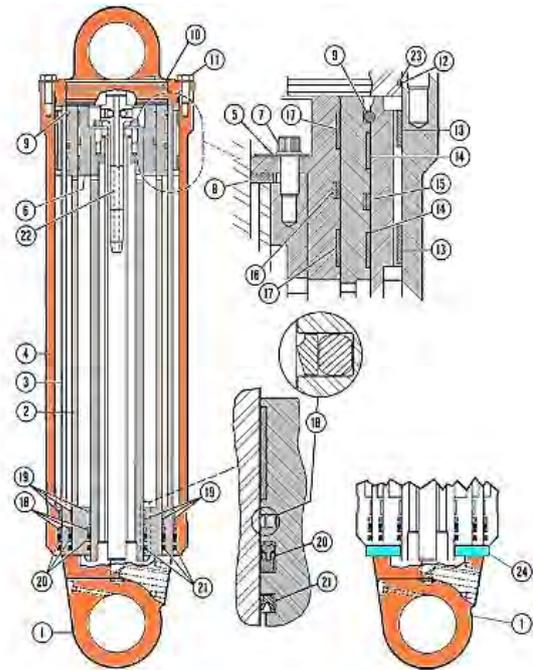


Fig 6. Esquema del cilindro de levante

Fuente: (Garrido, DESARME CILINDRO DE LEVANTE 960E, 960E-1K, 930E, 830E, 730E, 685E y 630E , 2012)

La configuración del cilindro permite medir directamente sus fugas internas cuando el cilindro esté completamente retraído o extendido. Para ello, en estas dos situaciones se deberá fijar mecánicamente la posición del cilindro y seguidamente activar la válvula que le suministra caudal para contraerlo (si está completamente extendido) o desplegarlo (si está totalmente retraído) según sea el caso. Ya que el desplazamiento del cilindro se encuentra bloqueado, el aceite que ingresa por el puerto de alimentación aumentará la presión en una de las cámaras del cilindro, al alcanzar una presión elevada (1500-2500 PSI), el aceite fluirá por los intersticios entre el vástago y las paredes del cilindro, para finalmente brotar por el puerto de retorno del cilindro. Este caudal de salida será las fugas internas que presente el cilindro.

Para el caso de las fugas externas, están se determinan al aumentar la presión por uno de los terminales del cilindro hasta que se alcanzar la presión de prueba 3500 PSI (241,3 bar). Las fugas externas permiten conocer el estado de los sellos en el cilindro. Transcurrido el tiempo de prueba a presión máxima, las fugas externas se obtienen como la caída de presión en el cilindro producto por las fugas mínimas de aceite al ambiente.

### 1.1.3. Procesos realizados en el taller KRCP

Los procesos en KRCP tienen como base y modelo referencial los procedimientos aprobados en Komatsu Reman Chile y Komatsu Anglo American. Los principales procesos realizados para la reparación de los cilindros de levante son el desarme, evaluación y armado del componente. Es importante mencionar que, a diferencia de otros componentes, el proceso de prueba no está contemplado en la reparación del cilindro de levante, pues no se cuenta con un sistema que permita realizarla.

**Desarme:** En el proceso de desarme, el componente es recibido lavado y con el aceite drenado. El cilindro es montado en un banco de desarme y se le retira la cubierta o tapa (10), luego el pistón (6) es desacoplado del vástago de la tercera etapa (1). Hecho esto, se posiciona el cilindro verticalmente y usando una grúa pescante se retira el vástago de la tercera etapa.



Fig 7. Retiro del vástago de la tercera etapa

Fuente: (Garrido, DESARME CILINDRO DE LEVANTE 960E, 960E-1K, 930E, 830E, 730E, 685E y 630E , 2012)

El conjunto de la carcasa y los cilindros de la primera y segunda etapa se vuelven a posicionar en el banco de desarme horizontal donde es sujetado con cadenas a las tenazas de una prensa hidráulica como muestra la figura 8. Se regula la altura del actuador para que desplace el cilindro de la segunda etapa (2) y se pone en funcionamiento la prensa hasta que se pueda retirar el anillo de retención (9).



Fig 8. Posicionamiento de la prensa y desplazamiento de la 2ª etapa

Fuente: (Garrido, DESARME CILINDRO DE LEVANTE 960E, 960E-1K, 930E, 830E, 730E, 685E y 630E , 2012)

Quitado el anillo de retención, el conjunto de carcasa y cilindros se gira 180° y es vuelto a sujetar a la prensa para proceder con el retiro de la segunda etapa. Seguidamente, el actuador se reajusta para hacer el retiro de la primera etapa (3). Terminado el desmontaje, todas las piezas son lavadas y pasan a una etapa de metrología y ensayos no destructivos de tintes penetrantes y partículas magnéticas. Finalmente, se realiza un informe donde se registra la metrología tomada, las observaciones obtenidas por los ensayos no destructivos y se solicita a detalle los repuestos que se van a requerir para su posterior armado.

**Armado:** En el proceso de armado, las etapas son vueltas a colocar usando nuevamente la prensa horizontal y colocando los sellos y bujes entre etapas. Luego, el vástago (3ª etapa) se introduce usando la grúa pescante (peso aproximado del vástago: 300 kg). Se ajusta los pernos que unen al vástago con el pistón y los de la

tapa de la carcasa. Finalmente se montan las rotulas en cada extremo del cilindro, el cilindro armado pasa al área de pintado y se embala con los repuestos de instalación para su montaje en obra.



Fig 9. Montaje del vástago en el proceso de armado.

Fuente: (Garrido, ARMADO CILINDRO LEVANTE 960E, 960E-1K, 930E, 830E, 730E, 685E y 630E, 2012)

#### 1.1.4. Pruebas en cilindros telescópicos

El procedimiento general de pruebas para cilindros hidráulicos esta normado según SAE J1334 (CTTC C1, Hydraulic Systems, 2003), que establece el método y la estructura del sistema con el que se desarrollará el ensayo. Las pruebas en los cilindros buscan determinar fugas significativas tanto internas como externas y verificar que opere adecuadamente a la presión de trabajo. A la vez, las condiciones de prueba en cilindros hidráulicos están dispuestas según la norma ISO 10100 (International Standar ISO, 2001) Las principales condiciones para el fluido de prueba (aceite) son las siguientes:

- Temperatura del fluido: entre 15° C y 45° C
- Viscosidad del fluido: 10 a 68 cSt para 40°
- El aceite debe ser filtrado a 25  $\mu$ m
- Las variaciones de presión y temperatura se encontrarán entre el +/- 2% de su valor nominal
- Presión de prueba: la presión de prueba debe ser especificada por el fabricante, si no es especificada será el 200% de la presión nominal

El procedimiento de prueba según la norma SAE J 1334 se divide en las siguientes etapas (SAE International, 2015):

- a. Prueba de pandeo: con el cilindro montado en pines, se extiende totalmente el pistón y en su extremo se aplica la máxima fuerza de compresión a la que se somete durante su operación. La fuerza se aplica gradualmente en intervalos del 20%, se mide la deflexión radial en cada intervalo.

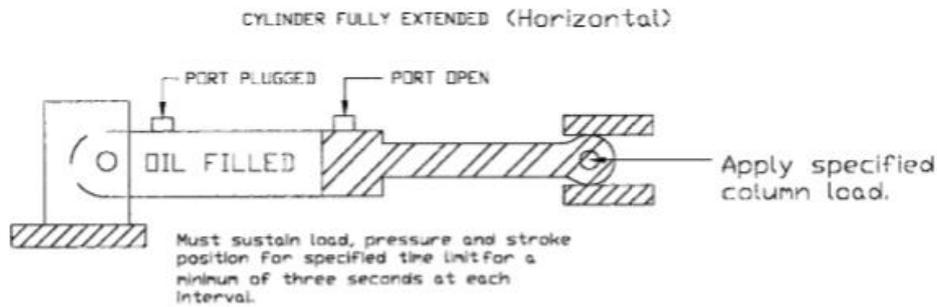


Fig 10. Prueba de pandeo  
Fuente: (SAE International, 2015)

- b. Prueba de libre desplazamiento: sirve para evaluar la fricción que existe entre el vástago y la superficie interna del cilindro. El vástago es posicionado a la mitad de su carrera, luego se selecciona una de los puertos del cilindro y se aumenta gradualmente la presión hasta alcanzar el desplazamiento del vástago, se registra la mínima presión y se repite el proceso para el otro puerto.
- c. Pruebas de ciclo de operación: permite comprobar el funcionamiento del cilindro en las condiciones de operación. Para comenzar, se extiende totalmente el pistón del cilindro hasta llegar a la presión de prueba, se mantiene la presión por un minuto, se repite el proceso para la retracción. Seguidamente se ejecuta el ciclo de trabajo del cilindro un determinado número de veces según especifique el fabricante. Como se puede observar en la Fig. 11, el desarrollo de esta etapa requiere de un circuito externo con un cilindro esclavo acoplado al cilindro de prueba por medio de sus vástagos. El cilindro esclavo permite simular la carga con la que opera el cilindro, la carga depende de las especificaciones del cilindro de prueba y es regulada por las válvulas de alivio.

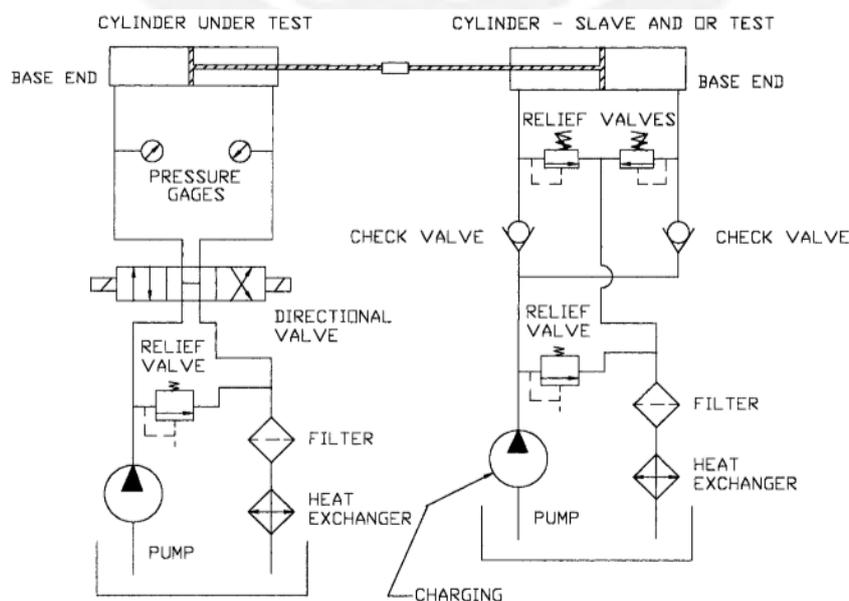


Fig 11. Ciclo de pruebas en el banco  
Fuente: (SAE International, 2015)

- d. Presentación de resultados: La información de la prueba será la obtenida en cada una de las etapas mencionadas. Entre los principales datos a registrar se encuentran la temperatura del fluido, el número de ciclos, fugas externas y reporte de fallas si lo hubiera. Para mayor referencia sobre la presentación de resultados y el desarrollo de la prueba, consultar el anexo 3 de este documento, donde se adjunta la publicación de la norma mencionada.

Tanto Komatsu Anglo American como Komatsu Reman Chile cuentan con estándares para las pruebas en sus cilindros hidráulicos. Sin embargo, el área KRCP no puede realizar pruebas en los cilindros telescópicos por la falta de un sistema que permita el retorno del vástago. Los estándares para las pruebas de los cilindros son los siguientes:

- Fuga de pistones(internas) no debe exceder:  
extendido: 10 pulg<sup>3</sup> \* min; retraído: 20 pulg<sup>3</sup> \* min
- Fuga por los sellos no debe exceder de 1 gota por 8 ciclos de operación
- El recorrido del cilindro debe ser continuo y sin trabamientos

## **1.2. Estado de la Tecnología**

En la actualidad, ya existen diferentes tipos de sistemas que permiten realizar pruebas en cilindros telescópicos, a fin de conocer las tecnologías usadas en estos equipos se presentan los diseños encontrados:

### **1.2.1. Pruebas automatizadas en cilindros telescópicos-Dana's Corp**

Este sistema fue desarrollado por la división de productos hidráulicos de la corporación Dana, que vio la necesidad de esta máquina debido a la demanda de altos estándares de calidad por parte de sus clientes. El sistema lo integran 3 partes principales: la estructura del banco, que incluye a un cilindro esclavo y los mecanismos de sujeción; el sistema hidráulico de alimentación; y el computador, que se encargará del control y la adquisición de datos. (Milwaukee, Wisconsin Patente n° 952088, 1995)

Este banco confirma la integridad de los cilindros telescópico determinando los siguientes parámetros de evaluación: vibración del cilindro en la operación, fugas externas, fugas internas, presión de prueba y la diferencia de medida entre etapas con la presión de prueba y sin ella, denominada: "sag"; todos estos parámetros son almacenados en una base de datos para futuras comparaciones con otros cilindros.

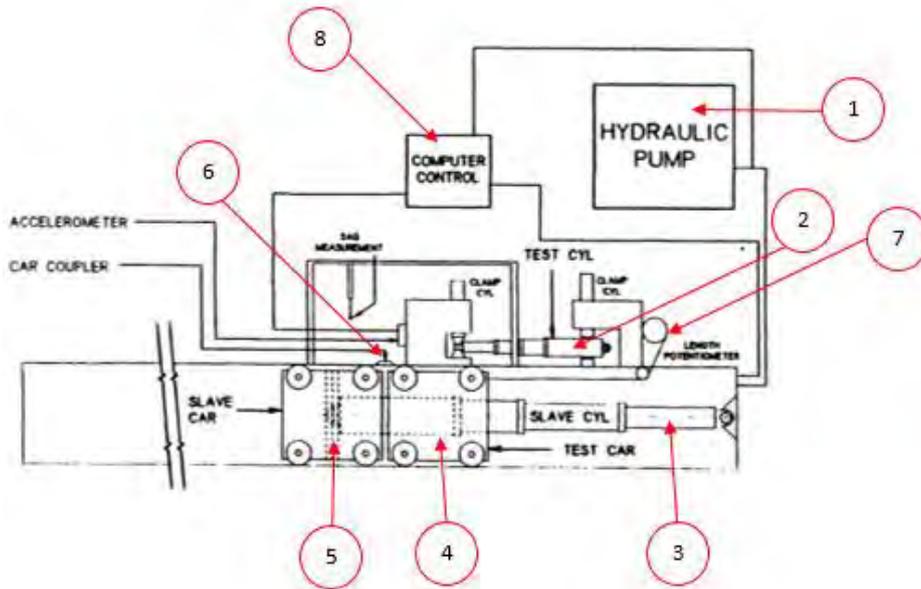


Fig 12. Sistema integrado de banco de pruebas para cilindros telescópicos  
Fuente: (Milwaukee, Wisconsin Patente n° 952088, 1995)

Considerando la Fig. 12, la operación general del banco es la siguiente: el cilindro de prueba (2) tiene un extremo sujeto por una abrazadera fija al banco de pruebas y el otro extremo está unido a una abrazadera móvil acoplada al carro de pruebas (4). El carro de pruebas puede moverse por medio de pistas a lo largo del banco de pruebas. El cilindro esclavo (3) tiene un extremo fijo al banco de pruebas, atraviesa el carro de pruebas y en el otro extremo está asegurado al carro esclavo (5). De esta forma, el cilindro esclavo es el que genera la fuerza que contrae al cilindro de pruebas, empujando el cuerpo del carro pruebas con el carro esclavo. El desplazamiento del cilindro de pruebas se mide mediante un potenciómetro lineal de hilo (7) unido al carro de pruebas.

El banco cuenta con una bomba hidráulica (1) de 2 etapas que suministra el aceite a 10 bar y con un caudal de 0.5 m/s para las pruebas de presurización. Además, el sistema hidráulico cuenta con filtros de 3  $\mu m$  para el aceite.

El computador (8) funciona como un sistema de adquisición de datos y control (DACS) usando el software LabView. Todas las válvulas distribuidoras son controladas usando el computador.

### 1.2.2. BAT-H 35-4- AF Automazione

El siguiente sistema encontrado pertenece a la empresa Automazione, dedicada al rubro de la automatización industrial. Esta empresa cuenta con una amplia gama de equipos que permiten hacer pruebas en cilindros hidráulicos y además contribuye con el proceso de ensamble. La normativa con la se basa esta sistema para hacer las pruebas en los cilindros es la ISO 10100:2005.



Fig 13. BAT-H 35-4  
Fuente: (AF-Automazione, 2005)

El diseño mecánico permite probar una gran cantidad de cilindros de distinto peso y tamaño de acuerdo a sus especificaciones técnicas. El cilindro de prueba es sujeto por 2 mordazas hidráulicas y un respaldo trasero bloquea el cilindro al momento de insertar el vástago. La parte móvil del banco se desplaza por medio de guías deslizante. Además cuenta con una jaula que protege al operario en la fase de pruebas. Este sistema no está diseñado especialmente para pruebas en cilindros telescópicos, ya que no se genera una fuerza externa para la contracción del vástago. El rango de cilindros de doble efecto que se pueden probar en este banco se muestra a continuación:

Tabla 1. Dimensiones de cilindros

Dimensiones de cilindros	Min(mm)	Max(mm)
Longitud	600	3500
Diámetro externo	100	400
Diámetro de la brida	200	600
Peso Máx.		6000 kg

Fuente: (AF-Automazione, 2005)

El sistema hidráulico en este banco está compuesto por: una bomba de pistones, un tanque hidráulico, válvulas para controlar las pruebas, transductores para medir la temperatura del fluido, sistema de enfriamiento, sistema de filtros, barómetros. Los parámetros del sistema hidráulicos son los siguientes:

Tabla 2. Parámetros de prueba

Presión mínima de prueba	15-18 bar
Presión máxima de prueba	350 bar
Capacidad del tanque hidráulico	250 lt
Voltaje de alimentación	400 V
Potencia eléctrica instalada	10 kW

Fuente: (AF-Automazione, 2005)

El sistema de control cuenta con un PLC, medios electromecánicos de control y protección de los motores y del sistema de válvulas. A la vez permite controlar los ciclos de prueba, almacena la data medida en las pruebas y genera un reporte detallando los parámetros de prueba en los cilindros.

### 1.3. Lista de Requerimientos

En base a la metodología de diseño que hizo uso, el siguiente paso fue definir los requerimientos que debe cumplir el sistema automatizado, precisando los prioritarios como exigencias y los menos necesarios como deseos.

En la tabla 3 se fijaron los parámetros con los que se determinó el concepto de solución óptimo. Esta lista a la vez considera factores limitantes como costo de implementación, tamaño, suministro de energía, entre otros.

Considerando que esta fase pertenece a la etapa de diseño, en la revisión final del documento se agregan comentarios detallando si los parámetros deseados fueron o no alcanzados. En el caso de las exigencias, se mencionará a que nivel se desarrolló lo requerido.

Tabla 3. Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 1 de 3
			Edición: Rev. 8
PROYECTO:		AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBAS EN CILINDROS TELESCÓPICOS	Fecha: 12/07/2016
			Revisado: B. B
Fecha	Deseo/ Exigencia	Descripción	Responsable
12/07/2017	E	<p><b>Función Principal:</b></p> <p>El sistema se conectará a un banco de pruebas de cilindros telescópicos, y permitirá la automatización de las pruebas según el estándar SAE J1334 y parámetros de calidad de la empresa Komatsu Mitsui Maquinarias Perú.</p> <p><b>Comentario:</b> en el protocolo final de la etapa de pruebas se consideró tanto la norma SAE J1334-Hydraulic cylinder integrity test- y la norma ISO 10100-Hydraulic fluid power cylinder acceptance tests.</p>	J.G.M.O
12/07/2017	E	<p><b>Componente a probar :</b></p> <p>Los componentes a probar son cilindros telescópicos usados para el sistema de levante de las tolvas de camiones mineros. De forma particular, el diseño se centrará en los cilindros de los modelos 730 y 830.</p> <p><b>Comentario:</b> Alcanzada, la selección de componentes se realizó en base a los parámetros de los modelos de cilindros mencionados.</p>	J.G.M.O
12/07/2017	D	<p><b>Componentes :</b></p> <p>Los componentes empleados en el sistema (sensores, actuadores, controlador) deben pertenecer al mercado local, para su compra y futuro reemplazo.</p> <p><b>Comentario:</b> No alcanzado, la mayoría de componentes provienen de importación ya que no cuentan con stock local. Sin embargo, los representantes locales de las marcas también pueden efectuar la importación.</p>	J.G.M.O

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 2 de 3
			Edición: Rev. 8
PROYECTO:		AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBAS EN CILINDROS TELESCÓPICOS	Fecha: 12/07/2016
			Revisado: B. B
Fecha	Deseo/ Exigencia	Descripción	Responsable
12/07/2017	E	<p><b>Energía:</b></p> <p>El suministro de energía principal será una bomba con el caudal y presión correspondientes al desarrollo de la prueba (<math>P &gt; 241</math> bar, <math>Q \text{ aprox} = 80</math> L/min), adicionalmente el sistema deberá conectarse a una fuente de voltaje para alimentar los sensores y actuadores.</p> <p>Comentario: Tal como se mencionó en el alcance del proyecto, la fuente de potencia hidráulica se considera solo de forma conceptual. La fuente de voltaje, que alimenta a los componentes que permiten la automatización, sí fue seleccionada.</p>	J.G.M.O
12/07/2017	E	<p><b>Ergonomía:</b></p> <p>El sistema pretende que el esfuerzo del usuario durante la prueba sea mínimo y que su intervención solo se base en la supervisión del proceso.</p> <p>Comentario: Una vez montado el cilindro, el operador solo ingresa los datos y supervisa la prueba.</p>	J.G.M.O
12/07/2017	E	<p><b>Costo:</b></p> <p>El costo del diseño y fabricación del sistema de automatización deberá bordear los \$/25.000 sin sobrepasar el límite de \$/30.000. El monto se establecio teniendo cómo referencia el costo un equipo similar para pruebas adquirido en uno de los talleres extranjeros de la empresa y en mutuo acuerdo con el asesor.</p> <p>Comentario: El monto final del proyecto es de aproximadamente \$21,000</p>	J.G.M.O
12/07/2017	E	<p><b>Plazo:</b></p> <p>La presentación inicial del diseño del sistema de automatización se entregará el 4 de diciembre del 2015. Seguidamente se somete a un proceso de correcciones para la presentación final.</p> <p>Comentario: Fecha de entrega inicial.</p>	J.G.M.O
12/07/2017	E	<p><b>Mantenimiento:</b></p> <p>El sistema de automatización debe ser de fácil mantenimiento, por lo que los componentes estarán agrupados de forma modular y coherente. Se ha de verificar la adecuada conexión entre los componentes y el fácil reemplazo de estos.</p> <p>Comentario: todos los componentes tienen una garantía mínima de 1 año, en su mayoría cuentan con representantes locales para servicio de post-venta.</p>	J.G.M.O

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 3 de 3
			Edición: Rev. 8
PROYECTO:		AUTOMATIZACIÓN DE PRUEBAS EN CILINDROS TELESCÓPICOS	Fecha: 12/07/2016
			Revisado: B.B
Fecha	Deseo/ Exigencia	Descripción	Responsable
12/07/2017	D	<p><b>Geometría:</b></p> <p>El sistema debe situarse en la bahía de trabajo donde se encontrará el módulo de pruebas de cilindros telescópicos. Área aproximada de una bahía: 7 metros de ancho y 8 metros de largo.</p> <p><b>Comentario:</b> Alcanzada, considerando el tamaño del cilindro extendido, las dimensiones del banco permiten que se ubique dentro de un bahía estandar.</p>	J.G.M.O
12/07/2017	E	<p><b>Seguridad:</b></p> <p>Deberá cumplir con normas de seguridad de los talleres de KRCP, de manera que el proceso no atente contra la integridad del operario. A la vez contará con enclavamientos para parar el sistema de ser necesario. El sistema direccionará el flujo de aceite hacia un circuito cerrado con el módulo de pruebas, por lo que no se drenará aceite que contamine el ambiente.</p> <p><b>Comentario:</b> Alcanzada</p>	J.G.M.O
12/07/2017	E	<p><b>Automatización:</b></p> <p>La Máquina pretende automatizar el ciclo de pruebas de los cilindros mediante el control de sensores y actuadores. Los parámetros necesarios para la prueba serán ingresados por el usuario.</p> <p><b>Comentario:</b> Alcanzada</p>	J.G.M.O
12/07/2017	E	<p><b>Datos e información</b></p> <p>El sistema deberá mostrar al usuario continuamente los parámetros bajo los que se va desarrollando la prueba, tales como extensión del cilindro y la presión de prueba. A la vez, el sistema contará con un centro de datos que contenga la información del cilindro: Dimensiones del cilindro, presión de prueba, fugas permitidas.</p> <p><b>Comentario:</b> Los datos de prueba son mostrados durante su desarrollo y registrados en el informe. Sin embargo no se carga a una base de datos dónde figuren los resultados de todas las pruebas. Esto se menciona en las recomendaciones.</p>	J.G.M.O
12/07/2017	E	<p><b>Variables y señales</b></p> <p>El sistema contará con indicadores de las etapas de operación: encendido, salida de vástago y retorno del vástago. A la vez tendrá sensores para monitorear las variables a las que desarrolla la prueba. Las principales variables que se medirán en la prueba y que se procesarán para el control serán: presión, desplazamiento del cilindro, tiempo de prueba.</p> <p><b>Comentario:</b> Alcanzada</p>	J.G.M.O

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO 2

### DISEÑO CONCEPTUAL

En el presente capítulo, previo a la elaboración de los conceptos de solución, se inicia detallando la secuencia de prueba que tendrá el cilindro. Definir a detalle el proceso de prueba permite la elaboración de la estructura de funciones para en adelante definir los elementos y las alternativas necesarias para la ejecución de cada función en el sistema. Finalmente se elabora la evaluación técnica económica de las propuestas alcanzadas para la selección del modelo más viable.

#### **2.1.Determinación de la secuencia de operaciones:**

A continuación, se describe el proceso en el que se ejecutan las pruebas, el cual consta de cuatro etapas: Preparación, ejecución, control y fase final.

##### **Descripción del proceso:**

Al inicio de la operación, el cilindro deberá ser montado en el banco de pruebas, las rotulas en sus extremos de cilindro permitirán que este pueda fijarse mecánicamente a los soportes que tenga el banco de prueba. Asimismo, se deben realizar las conexiones hidráulicas correspondientes. Seguidamente, de acuerdo al modelo del camión al que pertenezca el cilindro, se controlarán las variables de presión y desplazamiento del sistema a lo largo de la prueba. A la vez, un actuador aplica carga al cilindro que se desea probar para ejecutar las pruebas de operación, prueba de fugas internas y prueba de fugas externas. Luego, el cilindro es devuelto a su estado de reposo y los valores de las fugas se almacenan para ser procesados. Finalmente, el sistema muestra un reporte de la prueba donde se comparan los resultados obtenidos con valores estándares definidos, con ello se determina si el cilindro se encuentra apto o no para la operación.

##### **Preparación:**

Para la preparación del proceso se recibe el cilindro armado y con todas las etapas contraídas, el cilindro se posiciona en el banco de pruebas con la ayuda de una grúa pescante. Una vez posicionado el cilindro, se ejecuta las conexiones hidráulicas y mecánicas entre el cilindro a probar y el banco de pruebas. Se verifica que el banco de pruebas no muestre desperfecto en su encendido o alimentaciones eléctricas e hidráulicas, a la vez se inspecciona que no haya una condición insegura que se potencie al momento de las pruebas.

Previo la ejecución del proceso de prueba, el operario deberá seleccionar el modelo del cilindro que se desea probar. El sistema cargará los principales valores de prueba como: carga del cilindro, presión de prueba, parámetros de fuga. Seguidamente el sistema mostrará algunos parámetros de prueba que deberán ser considerados por el operador: tiempo promedio de prueba, máxima presión de prueba, desplazamiento máximo del vástago y a la vez solicitará la confirmación del operario para proceder con la prueba.

### **Ejecución:**

La ejecución del proceso inicia cuando se le aplica una carga al cilindro de prueba para reproducir el peso de la tolva. Luego se activa la alimentación del caudal de aceite al cilindro, según la velocidad de prueba establecida, para iniciar la extensión de sus etapas. Una vez que el cilindro alcanza su mayor desplazamiento, el sistema hidráulico cambia su configuración para proceder con la retracción de sus vástagos. Este proceso de extensión y retracción se repite según los ciclos que requiera la prueba.

Seguidamente, se extienden las etapas del cilindro y una vez llegue a su máxima extensión se inmoviliza la posición del cilindro de prueba usando un actuador. A continuación se varía la configuración del circuito al modo retracción de las etapas, ya que el cilindro desplazamiento se encuentra bloqueado, la presión en una de las cámaras del cilindro incrementará, de manera que una reducida fracción del flujo pasará a través del reducido espacio entre el vástago y las paredes de las etapas del cilindro. La variación del volumen de aceite en la cámara inicial se verá reflejada en forma de caudal por el puerto de salida. El desarrollo de esta fase permitirá obtener información de las fugas internas del cilindro. El procedimiento es análogo cuando el cilindro se encuentra totalmente contraído y se fija su posición.

Continuando con la ejecución, la prueba de fugas externas se inicia con el cilindro telescópico totalmente contraído, seguidamente se configura el circuito para extender el cilindro hasta su posición máxima. A diferencia de la prueba anterior, en esta etapa la presión se eleva hasta alcanzar la presión máxima de prueba especificada por el fabricante 3500 PSI (241.3 bar). Asimismo, para este caso las fugas externas no se estimarán en forma de caudal; sino que, una vez transcurrido el tiempo de prueba, se medirán de forma indirecta por medio de la caída de presión en los terminales del cilindro. La fase de ejecución termina al devolver el cilindro a la posición de reposo.

### **Control:**

Las variables de medición del sistema de control tienen que ser independientes del diseño del banco, por lo que deben estar enfocadas en el efecto que se produce en el cilindro, como en las entradas y salidas del sistema. Por ello, las principales variables de trabajo serán la presión en los terminales del cilindro, el desplazamiento de las etapas, y el tiempo en que transcurre la prueba. Con estos parámetros se determinará en qué etapa de la secuencia de operaciones se encuentra el sistema. De esta manera, se generarán las señales que activen los actuadores del banco y que modifiquen las variables del sistema. A la vez, se procesarán las variables medidas para obtener los indicadores de fugas internas y externas. Para el caso de las fugas internas, estas se determinarán por el caudal de salida del cilindro, mientras que las fugas externas estarán en función de la caída de presión en el circuito. El sistema registrará la información de prueba continuamente y estará sujeto a una parada de emergencia por parte del usuario o alertas que se registren en la prueba.

### **Fase final:**

En la parte final de la prueba, se analizará los datos obtenidos de las pruebas, estos se compararán de acuerdo a un estándar previamente establecido en fugas internas y externas. A la vez, se almacenará valores de prueba como la velocidad de desplazamiento y el tiempo para futuras referencias en otras pruebas. Por último, se generará un reporte de prueba que determiné si el cilindro está apto o no para la operación.

A continuación se presenta el diagrama de secuencia de operaciones de acuerdo a las fases expuestas anteriormente.





## 2.2. Estructura de funciones

De acuerdo a la secuencia de operaciones presentada, el sistema debe contar con sensores y actuadores que sean los que midan e intervengan respectivamente en las variables del sistema. A la vez, estos componentes funcionarán de acuerdo al procesamiento del controlador y a los datos de prueba del cilindro. Teniendo en cuenta lo expuesto, se plantea una estructura de funciones que relacione de manera integral la información, señales, componentes y funciones de procesamiento que intervengan en el proceso de prueba del cilindro.

Para ello, las funciones se han dividido de acuerdo al campo en que intervienen:

### Interfaz con el Usuario:

El interfaz deberá permitir la comunicación entre el usuario y el sistema. En particular cumplirá las siguientes funciones:

- Iniciar proceso: de por iniciada la secuencia de prueba, recibe como entrada una señal de aprobación del usuario
- Seleccionar Modelo del cilindro: El usuario selecciona el cilindro a probar a partir de una lista disponible
- Parada de emergencia: Interrupción externa, el usuario detiene la prueba ante un evento o condición insegura detectada.
- Alertas del sistema: se muestran alertas o alarmas ante una condición que sobrepase los valores permitidos del sistema.
- Mostrar variables del sistema: se muestra en tiempo real los valores que registra el sistema como desplazamiento y presión.

### Datos de prueba:

Los datos de prueba deberán estar cargados previamente en el controlador o computador, de manera específica la prueba se desarrollará según el modelo elegido por el usuario.

Se cargan los siguientes datos necesarios para el desarrollo de las pruebas:

- Carga sobre el cilindro
- Dimensiones del cilindro
- Fugas permitidas en el cilindro
- Presión por etapas y presión máxima de prueba

### Procesamiento y Control:

Todas las funciones de procesamiento y control de las variables deberán ser desarrolladas por el controlador, por lo que su selección dependerá del número de entradas digitales y analógicas.

- Procesar fuerza del actuador: determina la señal a aplicar en el actuador a partir de la información de la carga en el cilindro.
- Determinar fase de prueba: recibe las variables medidas del sistema y determina en qué fase de la secuencia de prueba se encuentra.

- Definir el sentido de desplazamiento del cilindro: recibe la fase prueba y determina cuál será el próximo movimiento del cilindro a través de una señal al actuador
- Control de presión en el cilindro: recibe la presión que medida en el cilindro, determina la señal a aplicar en el actuador que varía la presión.
- Determinar fugas en el cilindro: recibe las lecturas de presión y caudal, determina las fugas internas y externas en el cilindro
- Registra las variables en el sistema: registra las variables medidas para su procesamiento.

#### **Sensores:**

Los sensores se encargarán de medir las variables del sistema y transmitir las al controlador mediante una señal. Serán los siguientes

- Medir tiempo de prueba
- Medir presión en el puerto de entrada del cilindro
- Medir desplazamiento del cilindro
- Medir caudal de salida

#### **Actuadores:**

Serán los que afecten directamente la operación del cilindro de prueba. Se tendrán los siguientes:

- Limitar presión en el cilindro:
- Activar carga en el cilindro de prueba
- Fijar sentido de movimiento del cilindro

A continuación se presenta el diagrama de estructura de funciones que relaciona las partes del sistema expuestas.

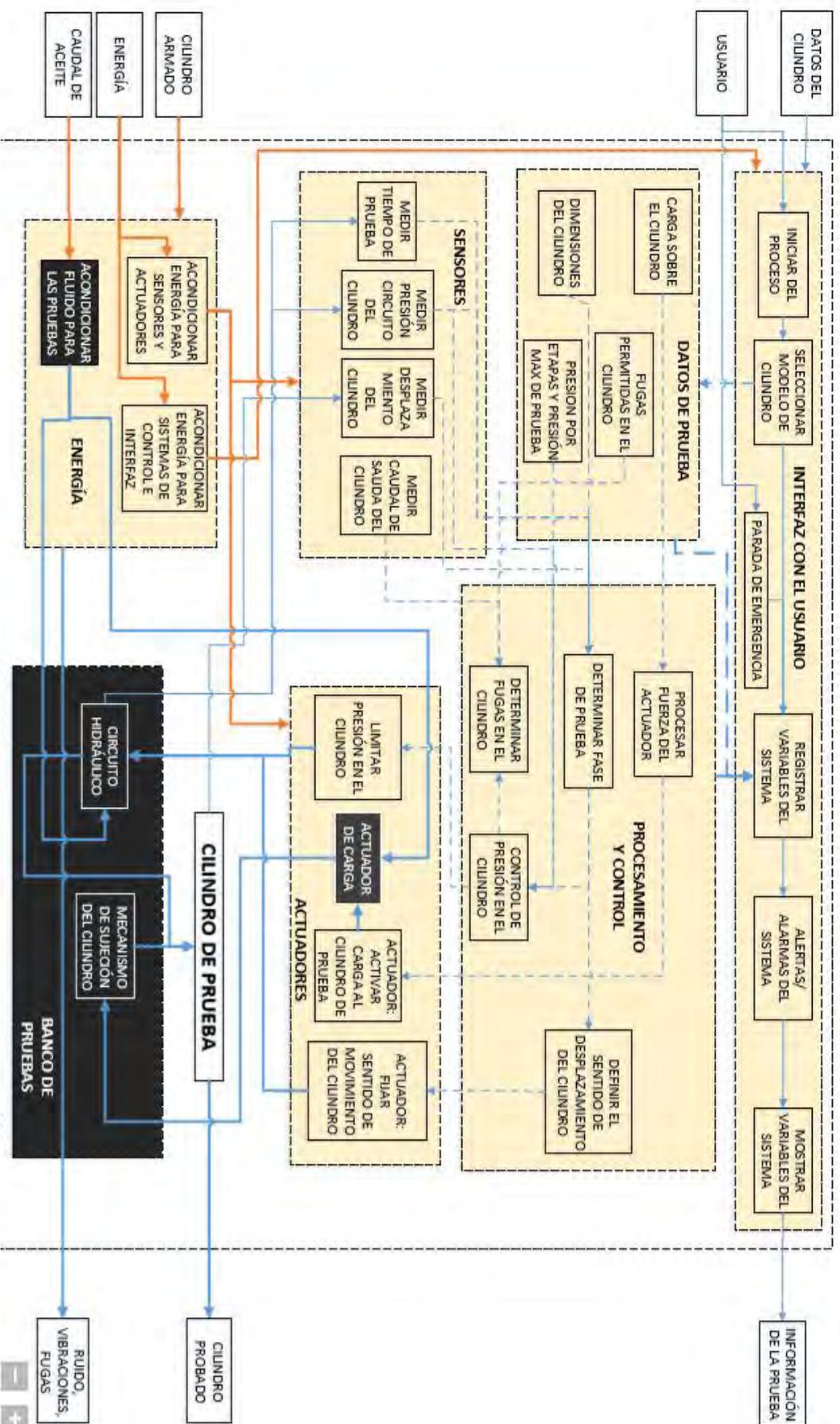
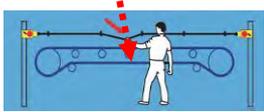


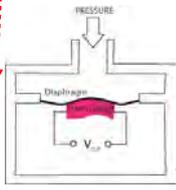
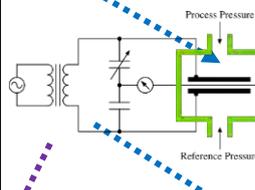
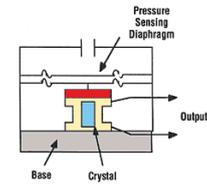
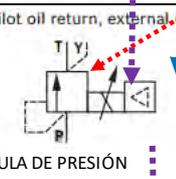
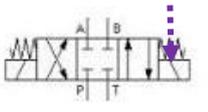
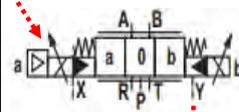
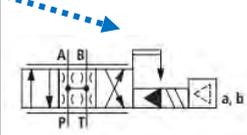
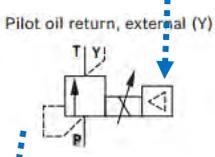
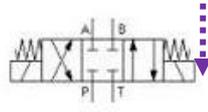
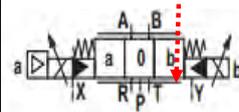
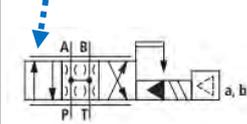
Fig 15. Estructura de funciones  
Fuente: Elaboración propia

### 2.3. Matriz Morfológica

Teniendo como base las funciones planteadas en la estructura de funciones, se presentan tres soluciones preliminares obtenidas de acuerdo a la siguiente matriz:

Tabla 4. Matriz morfológica

		<b>Automatización de pruebas para cilindros telescópicos</b>		REV:4
FUNCIÓN	ELEMENTO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
PROCESAMIENTO Y CONTROL DEL SISTEMA	CONTROLADOR	 MODULO ARDUINO	 PLC	
	PERIFÉRICO	 DATA ACQUISITION	 MODULO ARDUINO	
INTERFAZ CON EL USUARIO	INTERFAZ	 MONITOR	 DISPLAY DIGITAL	 HMI
	IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	 INSPECCIÓN VISUAL		
	PERIFÉRICO	 TECLADO NUMÉRICO	 HMI	 TECLADO ALFANUMÉRICO
	PARADA DE EMERGENCIA	 PARADA CON CUERDA	 PARADA CON BOTON	

SENSORES	INSPECCIÓN DE PRESIÓN	 MANÓMETRO BOURDON		
	TRANSDUCTOR DE PRESIÓN	 STRAIN GAUGE	 CAPACITIVO	 CRISTAL DE CUARZO
	DESPLAZAMIENTO DE LOS VASTAGOS	 POTENCIOMETRO DE BOMBA	 SENSOR ULTRASÓNICO	 SENSOR LÁSER
	MEDIR TIEMPO DE PRUEBA	 PLC	 MODULO ARDUINO	
ACTUADORES	LIMITAR PRESIÓN EN EL CILINDRO	 VÁLVULA DE PRESIÓN PROPORCIONAL		
	ACTIVAR CARGA AL CILINDRO DE PRUEBA	 VÁLVULA DISTRIBUIDORA CON SOLENOIDE	 VÁLVULA DISTRIBUIDORA PROPORCIONAL	 VÁLVULA DISTRIBUIDORA SERVOPILOTADA
	ACTUADOR DE CARGA	 CILINDRO HIDRÁULICOS DE DOBLE EFECTO	 PESO EXTERNO	 VÁLVULA DISTRIBUIDORA SERVOPILOTADA
	FIJAR EL SENTIDO DE MOVIMIENTO DEL CILINDRO	 VÁLVULA DISTRIBUIDORA CON SOLENOIDE	 VÁLVULA DISTRIBUIDORA PROPORCIONAL	 VÁLVULA DISTRIBUIDORA SERVOPILOTADA

CONCEPTO	COLOR
1	
2	
3	

Fuente: Elaboración propia

## 2.4.Diseño Conceptual:

### Concepto 1

El primer concepto consta de una estructura que sostiene al cilindro de forma vertical. En la parte superior de la estructura, uno de los extremos del cilindro se une a una plataforma con libertad de movimiento en la dirección axial al cilindro, sobre la plataforma se coloca un peso para simula la carga de la tolva y que generará la fuerza de retracción durante el ciclo de desplazamiento del cilindro.

El circuito hidráulico de este concepto consta con una válvula reguladora de caudal proporcional que regulará la velocidad de desplazamiento del cilindro. A la vez, el circuito hidráulico debe tener una válvula distribuidora 4/ 3 que varíe el sentido de desplazamiento del cilindro de acuerdo al ciclo de prueba. A fin de controlar la presión, el sistema tiene una válvula reguladora de presión proporcional que será controlada de acuerdo a la presión de prueba a la entrada del cilindro. Además, por seguridad el circuito consta de una válvula limitadora de caudal que desviará todo el fluido directamente al tanque si se llega a una presión superior a los límites permitidos.

En cuanto a la unidad de control, el sistema cuenta con una tarjeta arduino que soporte las entradas y salidas analógicas para controlar los actuadores y recibir las señales de los sensores. A la vez, en esta tarjeta se realizara todo el procesamiento y control de las variables del sistema. La información de prueba será mostrada al usuario por medio de un display digital alfanumérico, la información será ingresada por el usuario por medio de teclado numérico conectado al controlador.

Los sensores que usa el sistema para medir las variables serán: sensor de ultrasonido para medir el desplazamiento del cilindro, barómetro para medir la presión en la entrada del cilindro y sensor de flujo para determinar el caudal a la salida del cilindro. Adicionalmente, habrá un interruptor de paro de emergencia por cable, que detiene el sistema ante una condición insegura.

A continuación, se muestra de forma esquemática el primer concepto planteado.

## Concepto ①

- ① Válvula reguladora de Caudal
- ② Válvula Limitadora de presión
- ③ Válvula distribuidora 4/3
- ④ Válvula reguladora de presión
- ⑤ Válvula check
- ⑥ Válvula distribuidora 2/2
- ⑦ Válvula check
- ⑧ Peso

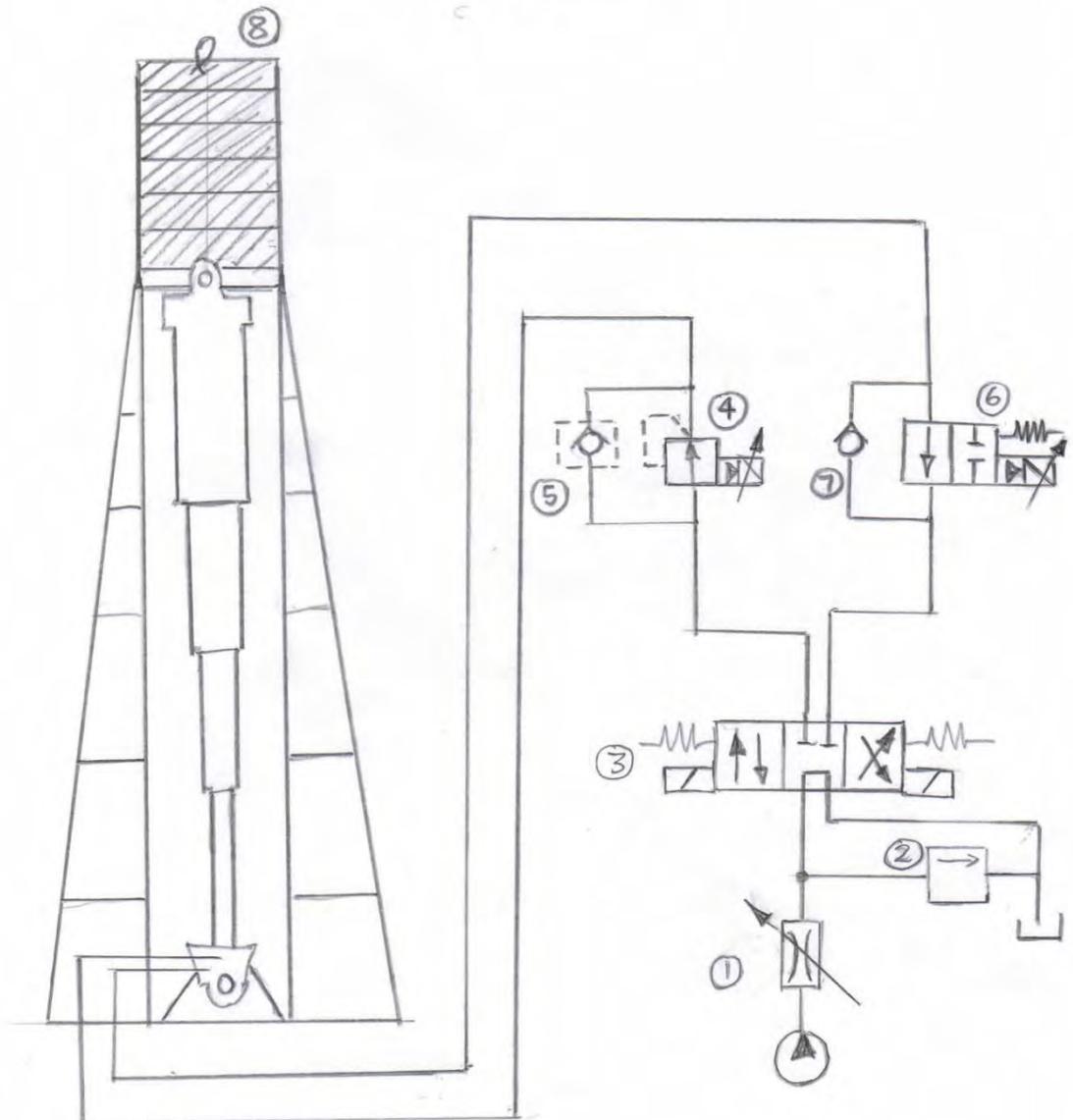


Fig 16. Concepto 1  
Fuente: Elaboración propia

## Concepto 2

El segundo concepto se caracteriza por no contar con un actuador que ejerza fuerza sobre el cilindro, sino que es una válvula de conexión acoplada al puerto de salida del cilindro la que restringe el paso del fluido hasta alcanzar una presión equivalente a la que se genera durante la operación por el peso de la tolva. Una vez alcanzada la presión, el cilindro podrá extenderse libremente. El sistema debe contar con una estructura que soporte al cilindro por uno de sus extremos y permite su movimiento lineal por el otro.

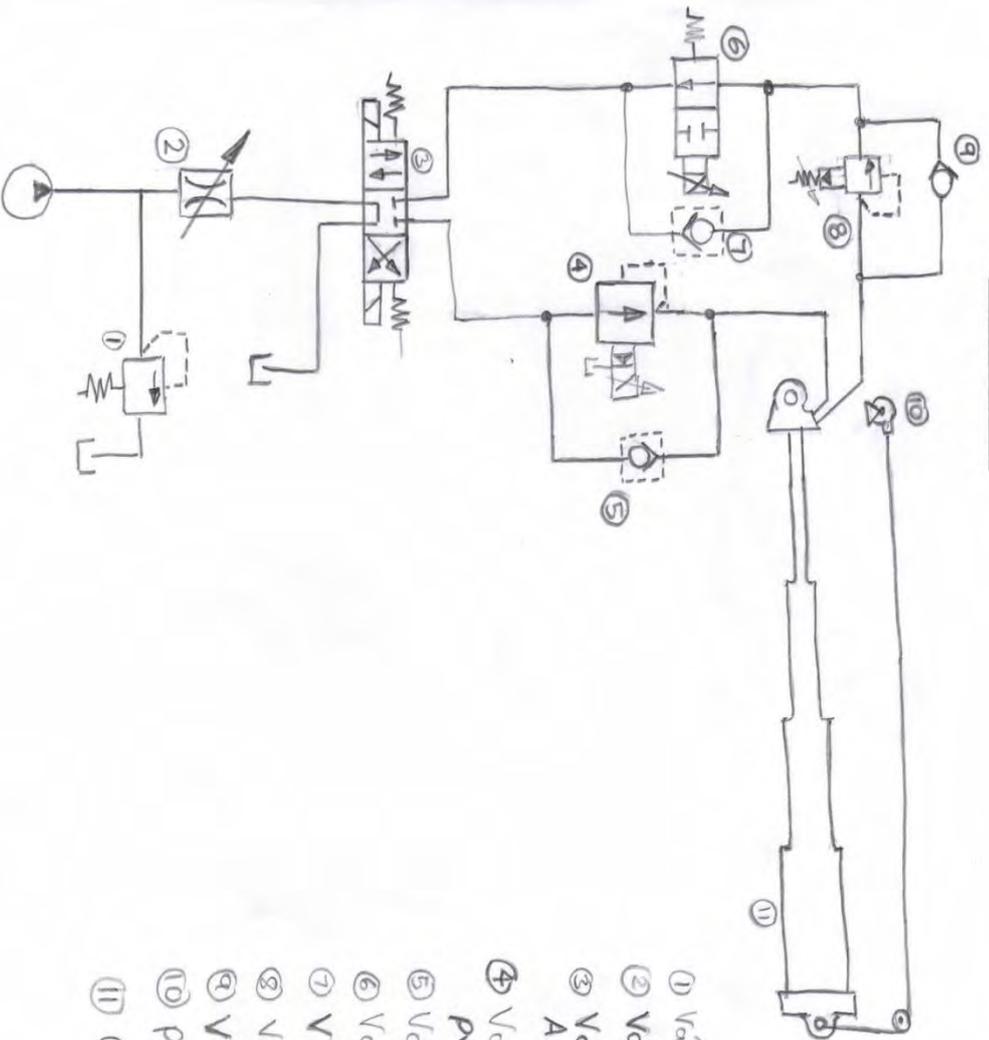
En cuanto al circuito hidráulico, el sistema consta de una válvula distribuidora proporcional que regule el caudal de entrada; válvula distribuidora que controle el sentido de desplazamiento del cilindro; válvula reguladora de presión que controle la presión de entrada al cilindro; válvula limitadora de caudal que desconecte el fluido ante presiones no permitidas; y la válvula de conexión en el puerto de salida según se mencionó previamente.

En cuanto al controlador, la elección fue un PLC con entradas y salidas analógicas que soporten la demanda de las variables controladas del sistema. En el PLC se programará el procesamiento de las variables del sistema y la secuencia de operación de las pruebas. A la vez el sistema debe ser conectado a una PC que servirá como interfaz con el usuario para mostrar las variables en tiempo real, la información será ingresada por medio de un teclado conectado a la computadora.

En cuanto a los sensores, este sistema utiliza un sensor laser para determinar la posición del cilindro durante la prueba. Para medir la presión, el sistema usa uno de los barómetros con lo que cuenta el módulo de pruebas hidráulicas que se usa como fuente de potencia. Asimismo, habrá un medidor de caudal a la salida del cilindro para obtener información de las fugas. Se entiende que estos sensores deben contar con el transductor adecuado para que la información se ingrese al controlador. Este concepto incluye un botón de emergencia para detener el sistema ante una condición insegura.

A continuación, se muestra de forma esquemática el segundo concepto planteado.

Concepto 2



- ① Válvula limitadora de presión
- ② Válvula de caudal variable
- ③ Válvula de distribución 4/3 A/B conmutada, PT bloqueado
- ④ Válvula reductora de presión proporcional
- ⑤ Válvula check
- ⑥ Válvula de distribución 2/2
- ⑦ Válvula check
- ⑧ Válvula de conexión proporcional
- ⑨ Válvula check
- ⑩ Potenciómetro de hilo
- ⑪ Cilindro de prueba

Fig 17. Concepto 2  
Fuente: Elaboración propia

### Concepto 3

Este concepto usa un cilindro de doble efecto para simular el peso de la tolva. El extremo móvil del cilindro telescópico se acopla al extremo móvil del cilindro de doble efecto, de esta forma no habrá movimiento relativo entre estos dos extremos. Durante la extensión del cilindro, la carga es simulada al acoplar una válvula de conexión al cilindro de doble efecto, de manera que funcione como amortiguador; mientras que en el retorno, se suministrará de caudal al cilindro de doble efecto, de manera que su vástago produzca una fuerza sobre el cilindro telescópico, causando su retracción.

A parte de lo ya mencionado, el circuito hidráulico de este concepto consta de dos válvulas reguladoras de presión, una para cada cilindro. El sentido de desplazamiento del cilindro telescópico se fijará por una válvula, y a la vez se deberá sincronizar con la válvula distribuidora del cilindro de doble efecto por medio del controlador. Es importante que ambas válvulas operen de manera simultánea, pues caso contrario sometería los cilindros a sobreesfuerzos.

El controlador seleccionado para este cilindro será un PLC, pues tiene alto grado de resistencia al ruido y admite entradas y salidas analógicas. A la vez, permite el procesamiento de las variables obtenida por los sensores y la secuencia de operación de las pruebas. Para la supervisión del proceso, este concepto dispone de un visualizador HMI que a la vez permitirá la interacción con el operario.

En cuanto a los sensores usados en este concepto, el desplazamiento del cilindro será medido por un potenciómetro de hilo, con un extremo fijo en la estructura del sistema y el otro unido a la parte móvil del cilindro. La lectura de presión se obtendrá usando uno de los barómetros independientes que irán conectados al controlador. Asimismo, se debe contar con un sensor de flujo diferencial para medir el caudal en la salida del cilindro y poder determinar las fugas internas. Adicionalmente, la parada de emergencia podrá ser activa por el usuario por medio de un botón junto al controlador.

Concepto ③

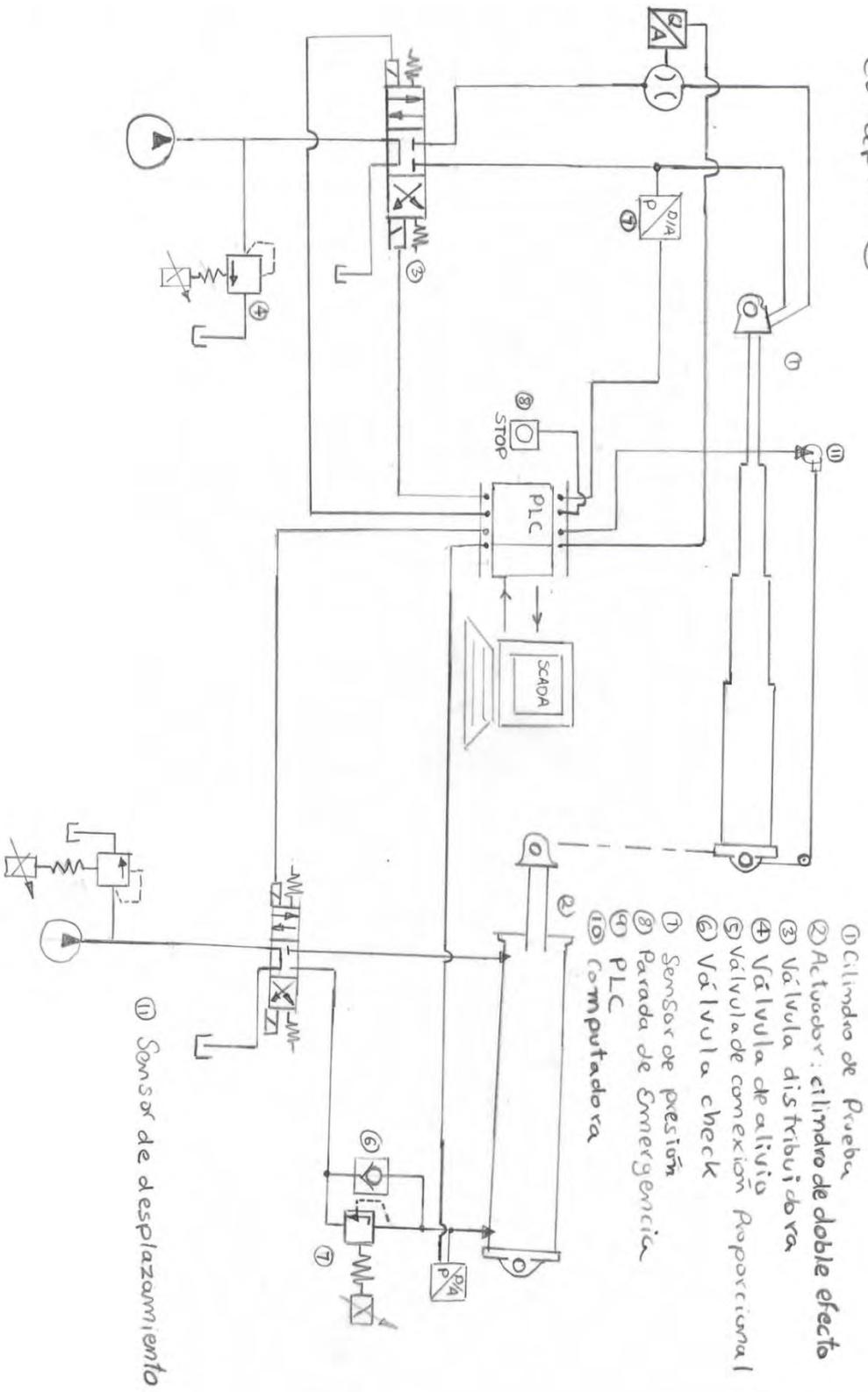


Fig 18. Concepto 3  
 Fuente: Elaboración propia

## **2.5.Evaluación técnica económica de Conceptos:**

### **Concepto 1**

Respecto al aspecto técnico, este concepto tiene como ventaja el hecho de que al ser un peso la fuerza que genera la retracción del cilindro, simula de manera más realista el peso de la tolva. Sin embargo, posee la desventaja de que para igualar en magnitud el peso solo de la tolva vacía se deberá colocar una cantidad de peso aproximada de 6 toneladas. Este peso, colocado a una altura considerable, genera una condición de trabajo insegura, a la vez determina que la estructura que soporta el peso sea de gran rigidez. Otro factor técnico determinante es el no poder controlar la carga sobre el cilindro, ya que esta queda determinada por el peso sobre la plataforma. Este hecho limita la automatización en el sistema. Respecto al controlador, es de fácil uso y posee la cantidad necesaria de entradas analógicas que necesita el sistema.

Respecto al factor económico, los componentes necesitados son en su mayoría de fácil adquisición ya sea en el mercado local o por importación. Para el caso del sensor de ultrasonido, una vez definidos los parámetros de funcionamiento, este puede ser obtenido como importación. En relación a la productividad, esta dependerá del tiempo en que se demore en probar cada cilindro y por ende del grado de automatización. El costo de la tecnología estará principalmente determinado por los sensores y actuadores que se van a seleccionar, ya que el controlador es de fácil adquisición. Por ello, respecto a los demás conceptos, este será el de menor costo de tecnología. A la vez, su tecnología es de fácil reemplazo y mantenimiento, pero su controlador tiene menor vida útil. Los costos de operación serán más elevados respecto al resto ya que durante todo el ciclo de prueba deberá sujetar la carga en la plataforma.

### **Concepto 2**

Respecto al aspecto técnico, este concepto se ve limitado al no tener actuador, pues no existirá una fuerza externa que empuje el cilindro de etapas, sino que el desplazamiento del cilindro de pruebas será amortiguado por una válvula de conexión. Por ello, la simulación del retorno del cilindro solo será parcialmente efectivo. En relación a la seguridad, este concepto no genera otra condición insegura determinante aparte del mismo desplazamiento del cilindro de pruebas. Referente a la automatización, el concepto permite variar tanto la presión y el caudal en el circuito de acuerdo a la secuencia de operaciones, sin embargo, la retracción del cilindro de pruebas no podrá ser simulada usando una carga externa, sino que se deberá direccional el flujo por el puerto de retorno del cilindro. Respecto a la manipulación del sistema, se pretende que el usuario se limite a ingresar el modelo del cilindro usando una pc, luego solo deberá supervisar la operación.

Respecto al factor económico, los componentes necesitados en su mayoría se pueden adquirir en el mercado local. Para el caso del sensor de posición por luz láser, una vez definidos los parámetros de funcionamiento, este puede ser obtenido como importación, teniendo como ventaja la exactitud en las medidas del desplazamiento. La productividad de este concepto también se verá determinada

por el grado de automatización. En este caso, todos los componentes serán controlados por el controlador PLC. El costo de la tecnología aumentará al usar un controlador PLC. Sin embargo, respecto a los demás conceptos, este concepto reduce en gran porcentaje su costo al usar un actuador externo. Los costos de operación serán reducidos respecto al resto ya que solo se tiene al cilindro de prueba como actuador y a diferencia del primer concepto no soporta una carga constante durante el desarrollo de la prueba.

### **Concepto 3**

Respecto al aspecto técnico, este concepto cuenta con un actuador externo que simula la carga usando un cilindro de doble efecto. Este actuador puede ser controlado con válvulas distribuidoras según se quiera disponer de la carga, por lo que tiene ventaja técnica tanto en función como en automatización respecto a los conceptos anteriores. En relación a la seguridad, si bien este concepto maneja grandes presiones al accionar los actuadores, el sistema cuenta con las válvulas de seguridad necesarias para garantizar que no se llegue a una condición no controlada de la carga. Una de las condiciones inseguras que se añade respecto a los otros conceptos, es el desplazamiento total de los dos cilindros en serie, pues la extensión total del banco variará de 3.5 m a 6 m aproximadamente. Respecto a la manipulación del sistema, se requiere la asistencia del operario para ingresar el modelo del cilindro, y su supervisión durante el proceso de prueba.

Respecto al factor económico, la mayoría de los sensores y actuadores necesarios se pueden obtener por importación o proveedores locales, por lo que el costo de la tecnología no será un factor crítico en este concepto. Sin embargo, la necesidad de contar con un cilindro de doble efecto que genere la carga sobre el cilindro de prueba, y que tenga una carrera necesaria para funcionar de manera síncrona con el cilindro de prueba, aumentará de forma determinante los costos de este concepto. De forma similar, el hecho de tener que operar de forma continua dos cilindros hidráulicos, genera más costos de operación y la posible necesidad de dos fuentes de potencia hidráulica. Respecto al costo de mantenimiento y montaje, esta será mayor respecto a los dos conceptos anteriores debido a la necesidad de tener que controlar 2 cilindros, lo cual involucra la presencia de una mayor cantidad de válvulas distribuidoras y de presión.

Se procedió a realizar la evaluación técnica y económica de los tres proyectos preliminares obtenidos por la matriz morfológica. Los criterios de evaluación mostrados pertenecen a las descripciones previas de cada concepto e indicadores de su viabilidad de diseño e implementación. En estas tablas, se pretende hallar un concepto preliminar de solución mediante la distribución de puntajes asignados a cada función considerando la importancia según la lista de exigencias.

Tabla 5. Valor económico de los conceptos de solución

EVALUACIÓN DE PROYECTOS: VALOR TÉCNICO(Xi)											AREA DE DISEÑO	
Proyecto: Automatización de pruebas en cilindros de levante												
p: Puntaje de 0 a 4 (Escala de valores VDI2225) 0= No satisface, 1= Apenas aceptable, 2= Suficiente, 3= Bien, 4= Excelente (Ideal) g: Peso ponderado en función de la importancia de los Criterios de evaluación para diseños en fase concepto												
Variantes de Concepto			Concepto 1			Concepto 2			Concepto 3		Concepto ideal	
N°	Criterio de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función principal	4	3	12	2	8	4	16	4	16	4	16
2	Ergonomía	2	3	6	2	4	3	6	4	8	4	8
3	Complejidad	2	3	6	3	6	2	4	4	8	4	8
4	Automatización	2	2	4	2	4	4	8	4	8	4	8
5	Mantenimiento	3	3	9	4	12	3	9	5	15	5	15
6	Energía	3	3	9	4	12	3	9	4	12	4	12
7	Seguridad	3	2	6	2	6	3	9	4	12	4	12
8	Control	4	2	8	3	12	4	16	4	16	4	16
9	Velocidad	3	3	9	3	9	2	6	4	12	4	12
	Puntaje maximo		24	69	25	73	28	83	37	107		
	Valor tecnico		0.6486	0.6449	0.6757	0.6822	0.7568	0.7757	1	1		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Valor económico de los conceptos de solución

EVALUACIÓN DE PROYECTOS: VALOR ECONÓMICO(Yi)											AREA DE DISEÑO	
Proyecto: Automatización de pruebas en cilindros de levante												
p: Puntaje de 0 a 4 (Escala de valores VDI2225) 0= No satisface, 1= Apenas aceptable, 2= Suficiente, 3= Bien, 4= Excelente (Ideal) g: Peso ponderado en función de la importancia de los Criterios de evaluación para diseños en fase concepto												
Variantes de Concepto			Concepto 1			Concepto 2			Concepto 3		Concepto ideal	
N°	Criterio de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Facil adquisición se componentes	4	4	16	3	12	3	12	4	16	4	16
2	Costos de tecnología	3	4	12	3	9	3	9	4	12	4	12
3	Costos diversos	3	4	12	3	9	2	6	4	12	4	12
4	Costos de operación	4	2	8	4	16	4	16	4	16	4	16
5	Productividad	3	2	6	3	9	3	9	4	12	4	12
6	Costo de matenimiento	3	3	9	2	6	2	6	4	12	4	12
	Puntaje maximo		19	63	18	61	17	58	24	80		
	Valor tecnico		0.7917	0.7875	0.75	0.7625	0.7083	0.725	1	1		

Fuente: Elaboración propia

En base a ello, en la figura, se compara los tres proyectos con la recta ideal, de manera que el proyecto más cercano a la recta es elegido como el concepto óptimo.

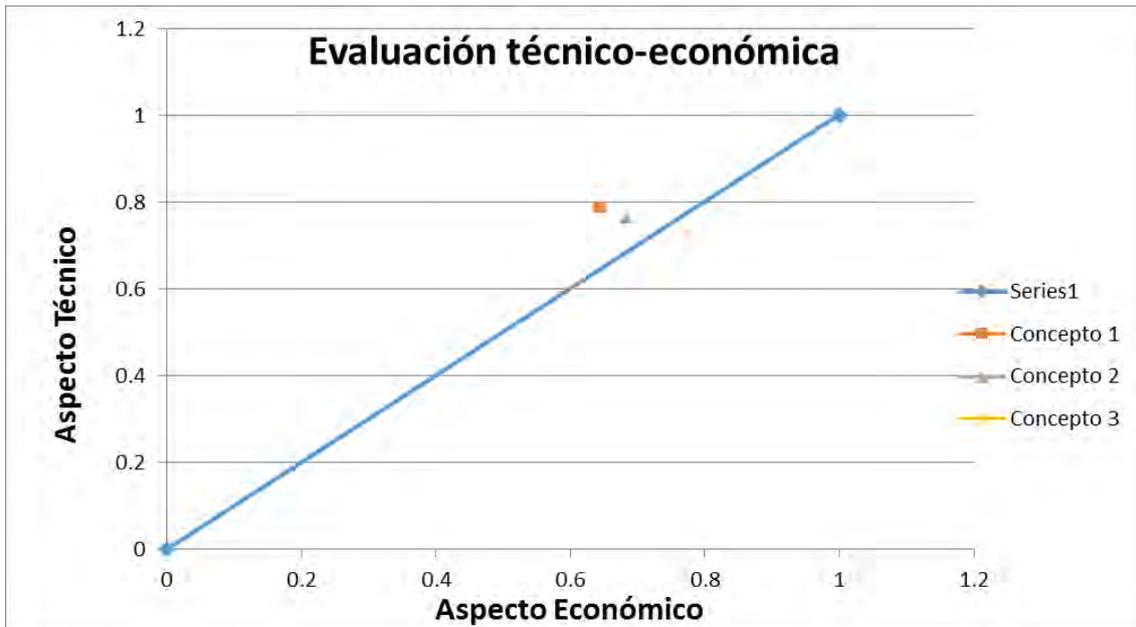


Fig 19. Evaluación Técnico-Económica  
Fuente: Elaboración Propia

Por la distribución de los puntos obtenidos sobre la recta, se puede concluir que el concepto 3, al ser más cercano a ella, es el concepto más viable de los 3 presentados. Por ello, se procederá al desarrollo de la automatización del sistema según las especificaciones del concepto 3.

## CAPÍTULO 3

### SELECCIÓN DE COMPONENTES

En el siguiente capítulo se desarrolló la selección de los componentes de acuerdo al concepto elegido en el capítulo anterior (Concepto 3). Para ello, en cada uno de los componentes se consideró los parámetros de funcionamiento que estos deben tener para las necesidades del sistema. Tales como: rango de acción, aplicación, condiciones de operación, entradas salidas, etc. Cada equipo o instrumento se seleccionó luego de una comparación previa con opciones similares, donde el modelo seleccionado responde a una superioridad técnica o de mejor procedencia.

#### 3.1.Consideraciones previas y selección de componentes

##### Transductores de presión

La primera consideración de rendimiento que se debe examinar para seleccionar un transductor es la presión máxima que se deberá medir en el sistema. Para el caso del cilindro telescópico, la presión de prueba no debe exceder los 3500 psi (241 bar). Además, la presión que se mide es una presión manométrica, donde el tanque se encuentra a una presión atmosférica.

En relación a la exactitud, se requiere que esta sea tanto estática como térmica, ya que durante las pruebas la temperatura de aceite varía de forma considerable entre los 15 y 45 °C (International Standar ISO, 2001).

En las consideraciones mecánicas, debe ser de fácil montaje en el circuito hidráulico del sistema. Respecto a las consideraciones electrónicas, ya que se comunicará con el PLC, lo ideal sería una salida analógica proporcional a un nivel de corriente o voltaje. En cuanto al rango de temperaturas de operación, quedará determinado por el protocolo de pruebas en cilindros según ISO 10100.

De esta forma, teniendo en cuenta lo expuesto en las consideraciones, se selecciona el siguiente transductor:

##### **Transductor de presión: HM20-1X**

Aplicación: Sistemas hidráulicos.

Alimentación: 16 a 36 VDC.

Rango de medición: 0 a 400 bar.

Corriente de consumo: 6mA.

Señal de salida: 4 a 20 mA (Compatible con controladores PLC).

Resolución: 11 bits.

Temperatura de operación: -20 a 80 °C.

Fabricante: Rexroth- Bosch Group.



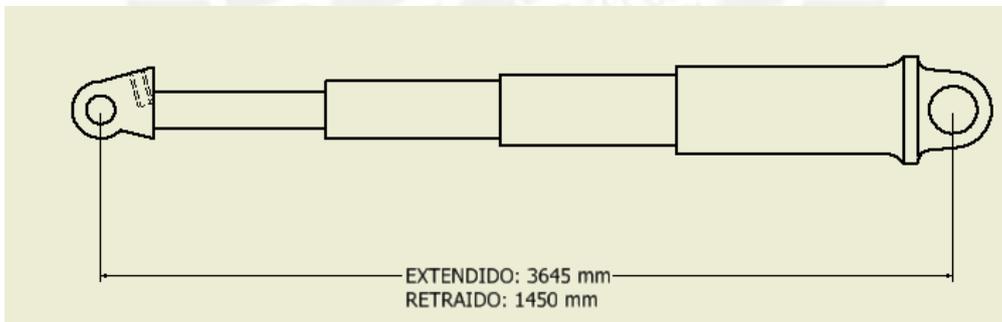
Fig 20. Transductor de presión: HM20-1X  
(Rexroth- Bosch group, 2012)

De las características mencionadas, se verifica que el transductor escogido brinda los requisitos necesarios para operar en el sistema que se desea automatizar. Para mayor detalle sobre los componentes escogidos, en los anexos del documento se encuentran los documentos del fabricante de cada componente.

### Sensor de desplazamiento

El primer requerimiento del sensor de desplazamiento es que su rango de medición sea mayor que la carrera del cilindro de prueba. Para ello, se consideran las siguientes medidas:

Para el modelo 730E



Fuente: Elaboración Propia

Fig 21. Medidas cilindro 730

De las medidas señaladas, se obtiene que el rango del sensor de desplazamiento debe ser mayor a la diferencia entre la longitud del cilindro extendido y retraído. Sin embargo, ya que el sistema tiene que admitir una variedad de cilindros de levante, se tomará las medidas del cilindro de levante del camión 830.

Cilindro de levante 830:

$L_{ext} : 4200 \text{ mm}$

$L_{ret} : 1850 \text{ mm}$

$R_{sensor} = L_{ext} - L_{ret}$

$R_{sensor} = 2350 \text{ mm}$

El concepto de solución ideal (concepto 3) contempla el uso de un sensor de posición tipo potenciómetro. A continuación se justifica de elección de este tipo de sensor

En base a las características de los sensores de posición obtenido por National Instruments, los potenciómetros tienen un alto grado de exactitud y sensibilidad, siendo además muy usados en la industria para una gama de aplicaciones estándar. Este sensor puede trabajar una distinta variedad de temperaturas sin perder precisión en sus medidas. Además, a diferencia de los sensores de proximidad ópticos o de luz, estos sensores tienen un amplio rango de funcionamiento (desde los 20 cm hasta los 10 metros). Este sensor es catalogado como de fácil mantenimiento y calibración.

Tabla 7. Tipos de sensores de posición

Sensor de Posición	Precio	Entorno	Exactitud	Sensibilidad	Comparación
Sensor de Efecto Hall	Bajo	Estándar	On / Off	On / Off	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo se asegura que el objetivo está cerca al presionar el sensor</li> </ul>
Codificadores Ópticos - Lineales y Rotativos	Varía	Estándar	Varía	Alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exactitud determinada por número de conteos por revolución</li> </ul>
Potenciómetros	Bajo	Estándar	Alta	Alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es necesario que este sujeto físicamente al objetivo en movimiento</li> </ul>
Transformadores Diferenciales de Variación Lineales y Rotatorios (LVDT) o (RVDT)	Alto	Conocido por tolerancia a entornos industriales sucios y precisión	Alta	Alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soporta un alto grado de potencia</li> <li>• Requiere acondicionamiento de señales</li> <li>• Los RVDTs generalmente operan en cualquier rango angular de <math>\pm 30</math> a <math>70</math> °C</li> </ul>
Sonda de Proximidad de Corrientes de Foucault	Medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin contacto</li> <li>• Tolerancia a entornos sucios</li> <li>• No sensible al material entre el sensor y el objetivo</li> </ul>	Media	Varía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es bueno cuando se requiere alta resolución</li> <li>• No es bueno para usarse cuando existe un gran espacio entre el sensor y el objetivo (los sensores ópticos y láser son mejores)</li> <li>• Es bueno cuando es montado en una estructura mecánica razonablemente fija para medir maquinaria cercana que tenga movimiento</li> </ul>
Sensor de Proximidad de Luz Reflectiva	Varía	Estándar	Varía	Alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere línea de visión al objetivo para la medida</li> <li>• Es bueno para usarse cuando existe un gran espacio entre el sensor y el objetivo</li> <li>• La exactitud es determinada por la calidad del sensor</li> </ul>

Fuente: (National Instruments, 2013)

En base a estas comparaciones técnicas y al costo de este sensor, se definió que su uso sería el adecuado para la aplicación buscada. Como se menciona en la tabla, este sensor debe estar físicamente unido al objeto en movimiento, para el caso del cilindro se tendrá un extremo unido a un soporte del banco y el otro vástago del cilindro.

De forma similar al caso del transductor, este sensor debe tener una salida de voltaje o corriente proporcional a la posición del cilindro.

Teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas, el sensor escogido para nuestra aplicación fue el siguiente:

**Sensor de desplazamiento: MPS-L-5000-R**

Aplicación: Automatización/Varios

Tipo de sensor: Potenciómetro de hilo

Alimentación: 24 VDC

Carrera efectiva: [0-4000] mm

Salida: Resistencia [0 – 5k] Ohm

Temperatura de Operación: 0 a 70°C

Potencia promedio: 2W

Corriente de entrada: 25mA



Fig 22. Potenciómetro de Hilo: MPS-L-P  
(Miran Technology, 2014)

Como especifican las características de este sensor, la salida del potenciómetro es una resistencia que varía entre [0-10k] Ohm, por ello se transformará esta salida a un nivel de voltaje proporcional al desplazamiento del cilindro. En el capítulo 5 se presenta el plano del circuito y los detalles correspondientes.

**Transductor de caudal**

Los datos obtenidos sobre el caudal de prueba del cilindro telescópico determinarán las especificaciones del transductor de flujo que se va a seleccionar. De acuerdo al concepto 3, el sensor de flujo será el que determine las fugas internas en el cilindro que se van a manifestar en forma de caudal cuando el cilindro se encuentre en las condiciones de: completamente retraído o completamente extendido y se le siga suministrando caudal hasta alcanzar la presión establecida por la empresa proveedora de los cilindros (Komatsu American Corp, 2001).

Según las especificaciones del fabricante, el flujo de aceite por fugas internas admisible en los cilindros de levante no debe superar los siguientes valores:

- TEST REQUIREMENT**
1. PROOF TEST 24.1 MPa (3500 PSI).
  2. PISTON LEAKAGE MUST NOT EXCEED  
EXTENDED - 164 cm<sup>3</sup>/MIN (10 CU IN/MIN)  
RETRACTED - 328 cm<sup>3</sup>/MIN (20 CU IN/MIN) @ 17.2 MPa (2500 PSI) PORT TO PORT
  3. ROD SEALS LEAKAGE MUST NOT EXCEED ONE DROP IN 8 CYCLES OF OPERATION.

*Fig 23. Fugas internas en cilindros de levante 730-830  
Fuente: (Komatsu American Corp, 2001)*

De lo mostrado, el transductor a seleccionar debe poder dar lecturas de por los menos 164 cm<sup>3</sup>/min, y trabajando a una presión de 2500 PSI (172,3 bar).

Al igual que los otros sensores a seleccionar, este tendrá que trabajar al rango de temperaturas establecido para las pruebas (15 a 45 °C). Teniendo en cuenta el uso del controlador PLC, la señal de salida debe ser proporcional al nivel de voltaje o corriente. Otras de las consideraciones importantes para la elección de estos sensores es su alimentación, que en lo posible deben ser obtenidas del mismo controlador en sus salidas de 12V y 24V. Asimismo, el sensor debe alterar las condiciones del circuito hidráulico en la menor forma posible, por ejemplo en la caída de presión por estrangulamiento.

De lo mencionado, se selecciona el siguiente transductor de caudal para la medición de las fugas internas.

#### **Transductor de Caudal: OM006 Oval Gear Meter**

Aplicaciones: Hidráulica, automatización

Alimentación: 5 a 24 VDC- Requiere una fuente de poder dedicada (Michie, 2016)

Fluido de entrada: 2 a 100 LPH

Tipo de Sensor: Sensor de Efecto Hall (Requiere una fuente de poder dedicada),

Salida: NPN output (3 conexiones) / Opcional: 4-20 mA.

Pulsos/Litro: 2800.

Temperatura de operación: -20 a 120 °C.

Presión Máxima: 400 bar.



Fig 24. Transductor de flujo  
(Great Plain Industries, 2014)

Debido al tipo de sensor y a la necesidad de una salida analógica (4-20mA), también se utilizará un complemento electrónico del mismo fabricante. Este dispositivo será el que suministre de energía al sensor:

#### **G6: Display con Salida de 4-20mA**

Voltaje de Alimentación: 8.5 VDC (min)- 35 VDC (máx)

Corriente máxima: 200 mA

Tipos de Entrada: Hall Effect, Reed Switch, Open Collector

Tipo de Salida: 4-20 mA o 0-20 mA

Precisión: +/- 0.1% de la lectura

Temperatura de operación: 0 a 60 °C.

Montaje: montaje local sobre sensor OM Oval Gear



Fig 25. Dispositivo de salida 4-20 mA con display  
(Great Plain Industries, 2014)

#### **Válvulas de presión**

El hecho de que se deba controlar la presión a la entrada del cilindro hace necesario el uso de válvulas proporcionales que varíen la presión de referencia de

acuerdo a una señal del controlador. Otro tipo de válvulas que cumplen una función similar a las válvulas proporcionales son las servo válvulas, sin embargo, debido al alto costo de estos componentes (4 veces el valor de las válvulas proporcionales) no fueron consideradas para esta automatización. (Bosch Group, 2014)

Las características en las que se base la selección de las válvulas de presión serán el caudal de aceite que llegue al cilindro y el rango de presiones de operación. Las presiones de operación en el cilindro son obtenidas según el circuito hidráulico del sistema de levante. A continuación se presenta un diagrama con el detalle del circuito hidráulico del sistema de levante con los actuadores fijados en el modo de descenso flotante.

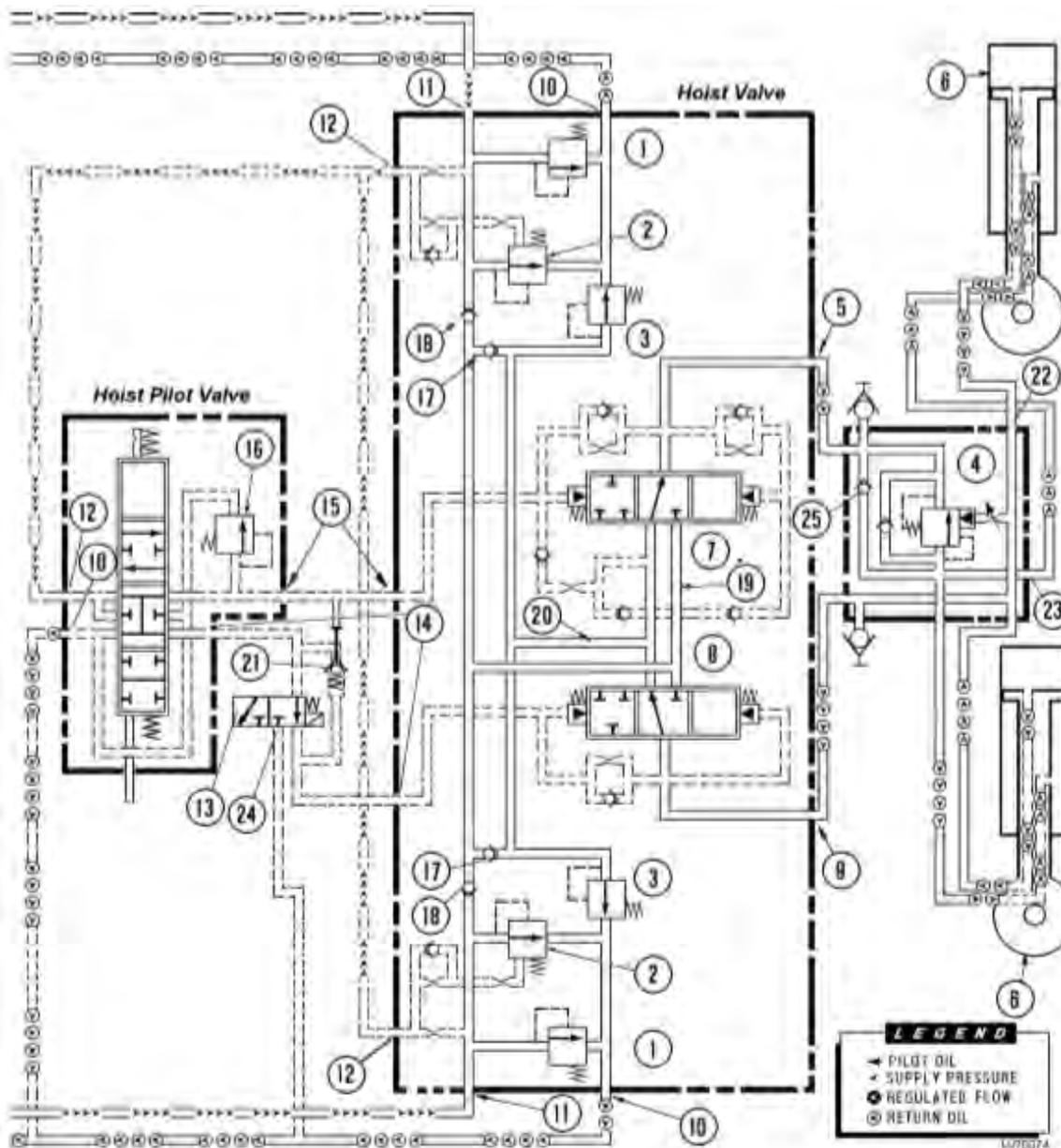


Fig 26. Circuito Hidráulico de levante  
(Komatsu American Corp, 2001)

## HOIST CIRCUIT: POWER UP POSITION

1. Hoist Relief Valve 2500 psi (17.2 MPa)
2. Flow Control Valve
3. Low Pressure Relief Valve 75 psi (517 kPa)
4. Counterbalance Valve
5. Rod End Work Port
6. Hoist Cylinders
7. Rod End Spool
8. Head End Spool
9. Head End Work Port
10. Return Port
11. Supply Port
12. Pilot Supply Port
13. Power Up Pilot Line Solenoid Valve
14. Raise Pilot Port
15. Down Pilot Port
16. Power Down Relief Valve, 1500 psi (10.5 MPa)
17. Anti-void Check Valve
18. Load Check Valve
19. High Pressure Passage
20. Low Pressure Passage
21. Pilot Operated Check Valve
22. Manifold Power Up Port
23. Manifold Power Down Port
24. Solenoid Valve Return Port
25. Overcenter Manifold Check Valve (CV)

Fig 27. Lista de componentes del circuito hidráulico  
(Komatsu American Corp, 2001)

Si bien el circuito hidráulico del sistema de levante fue explicado de forma general en los antecedentes, el detalle que muestra la Fig.25 nos permite delimitar las presiones máximas a la que se deberá probar los cilindros. Como se observa en la figura, existen dos válvulas de alivio principales. La primera es la válvula de alivio de levante (1), esta válvula se conecta directamente a un punto de la línea de alimentación del circuito. La segunda válvula es la de alivio en el descenso de la tolva (16), que está conectada a uno de los puertos de salida de la válvula distribuidora término de vástago (7), activándose cuando la presión en el descenso de la tolva supera el valor fijado.

De acuerdo al circuito hidráulico, cuando el camión se encuentra en operación, la presión máxima del cilindro estará limitada tanto durante la extensión como en la retracción por medio de válvulas de alivio (1, 16) fijadas a los siguientes valores (Komatsu American Corp, 2001):

$$P_{max} \text{ en la extensión} = 2500 \text{ psi}$$

$$P_{max} \text{ en la retracción} = 1500 \text{ psi}$$

$$P_{max} \text{ de prueba de fugas externas} = 3500 \text{ psi}$$

A la vez, considerando la secuencia de operación del circuito de pruebas, en la fase inicial se deberá romper la inercia de la carga para comenzar con la extensión del cilindro. Por ello, la presión en la limitadora irá aumentando gradualmente hasta lograr vencer la carga ejercida por el actuador (cilindro de doble efecto). La presión a la que se rompe la inercia será registrada en los resultados de la prueba.

El caudal de aceite al que se desarrolle la prueba es un factor secundario que establece la velocidad a la que se va desplazar el cilindro, la variación del caudal no brinda información acerca de la integridad del cilindro. Existen dos elementos que limitan el caudal de prueba: el caudal de la bomba que alimenta el circuito (si es que está en una de desplazamiento volumétrico fijo) y el tiempo que se requiere dure la prueba.

Como ya se mencionó en la introducción, el diseño de la fuente de potencia hidráulica no forma parte del alcance de este trabajo. Por lo que se tomará como referencia el caudal de la bomba de un banco de pruebas con el que cuenta la empresa proveedora de los cilindros en su centro de reparaciones en Chile (KRCC).

De acuerdo al manual del módulo de pruebas hidráulicas que se toma por referencia, los caudales máximos se disponen serán:

Tabla 8. Fuentes de potencia hidráulica

Hydraulic Fluid Supply Circuits	Main	0-60 GPM (227 L/min), 0-1,000 PSI (6,895 kPa) pressurized oil supply circuit with flow control valve, panel meter and 1,000 PSI (6,895 kPa) gauge for monitoring pressure.
	High PSI	0-22 GPM (83 L/min), 0-7,200 PSI (49,642 kPa) pressurized oil supply circuit with 10,000 PSI (68,948 kPa) gauge for monitoring pressure.
	Lube	0-30 GPM (114 L/min), 0-65 PSI (448 kPa) circuit with 100 PSI (6,89 kPa) gauge for monitoring pressure.

Fuente: (AIDCO CORP, 2014)

Considerando las presiones máximas que se va a requerir, el caudal de operación máximo con el que se trabajaría en el circuito es:  $Q_{op} = 83 \text{ l/min}$ . Este caudal se tomará como referencia para estimar el tiempo de duración de toda la prueba de los cilindros. Revisar la sección de programación del controlador (Capítulo 4)

Otro factor importante para la selección de las válvulas de presión es el tipo de señal que gobierne su acción. Ya que estos actuadores deberán ser controlados por el PLC, deben admitir como entrada un nivel de voltaje o corriente proporcional a la presión a la que se desea limitar.

Teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas tanto en caudal, presión admisible y tipo de señal de entrada, la válvula seleccionada para la automatización es la siguiente:

### Válvulas de alivio proporcional: DBEBE10Z

Aplicaciones: Limitar la presión en sistemas hidráulicos

Máxima presión de operación: 315 bar

Flujo promedio: 120 l/min

Alimentación: 24 VDC

Entrada de set point: 4 a 20 mA

Consumo de Energía: 40 VA max.

Temperatura de operación: -20 a 70° C

Histeresis: 1 %



Fig 28. Válvula de alivio proporcional con realimentación de posición  
(Rexroth Bosch Group, 2005)

### Válvula distribuidora

Las válvulas distribuidoras serán las que varíen la dirección de desplazamiento del cilindro, los posibles tipos de válvulas a usar son las válvulas de activación eléctrica por solenoide o las válvulas proporcionales. Con una válvula distribuidora proporcional, se puede controlar la dirección y el caudal de aceite que atraviesa la sección, ya que es activada por un solenoide de infinitas posiciones que se activa por una señal eléctrica. En cambio, una electroválvula con solenoide on/off solo tendrá posiciones fijas que corresponden a cada uno de sus secciones en el carrete. De acuerdo al concepto 3, el caudal del circuito puede ser controlado por una bomba de caudal variable, por lo que solo será necesario una electroválvula con solenoide para controlar la dirección de desplazamiento. A la vez, tener una válvula para cada función específica le brinda más versatilidad al sistema, ya que las válvulas se controlarán de forma independiente.

Este actuador tendrá que activarse según una señal de salida del PLC. Ya que el consumo de potencia de estas válvulas es mayor que la potencia de salida que se obtiene del PLC, se requerirá un circuito de mayor potencia que active el solenoide por medio de una señal de control. El detalle de este circuito se presentará en el capítulo 5 (Planos y costos).

Los parámetros de selección de una válvula distribuidora serán el caudal de aceite promedio que atraviesa la sección y la presión máxima a la que se desea operar. Considerando los valores mencionados previamente, la válvula seleccionada es la siguiente:

#### **Válvula distribuidora: RE 23178- WE**

Tipo: 4 vías, 3 posiciones

Norma: DIN 24340

Operación: con solenoides AC y DC

Flujo máximo: 80 l/min

Presión de operación máxima: 350 bar

Voltaje de activación: 24 VDC

Consumo de potencia: 30 W

Temperatura de operación: -30 a 80 °C



Fig 29. Válvula distribuidora RE 23178  
(Rexroth Bosch Group, 2013)

Según el concepto de solución elegido, se necesitarán dos tipos de válvulas distribuidoras: Para controlar el sentido de desplazamiento del cilindro de prueba y del cilindro esclavo se usaran dos válvulas 4/3. Adicionalmente se empleará una válvula de conexión tipo 2/2, esta válvula tendrá como función conectar y desconectar el transductor de caudal al circuito hidráulico. Esto se requiere ya que el transductor de caudal solo se activa durante la prueba de fugas internas, y el caudal de salida es mucho menor (0-0.5 l/min) al caudal nominal de operación (70 l/min aprox.). La válvula de conexión que se selecciona es la siguiente:

**Válvula distribuidora: DS162C**

Tipo: 2 posiciones, 2 vías

Flujo nominal: 75 l/min

Presión máxima: 210 Bar

Voltaje de alimentación: 24 VDC

Material: Aluminio

Fabricante: Parker

Tiempo de respuesta: 90 ms



Fig 30. Válvula distribuidora DS162C  
Fuente: (Parker Hannifin Corporation , 2004)

### Actuador-Cilindro de doble efecto

De lo mostrado en el concepto óptimo, el actuador seleccionado para ejercer la fuerza sobre un cilindro de prueba es un cilindro de doble efecto. Los parámetros previos para la selección de un cilindro son:

*h: carrera*

*p: presión de operación*

*F: fuerza sobre el cilindro*

*v: velocidad*

A partir de estos datos se puede determinar los parámetros para la selección previa del cilindro.

La fuerza que ejerza el cilindro de doble efecto sobre el cilindro de prueba será la que simule el peso de la carga, tomando en consideración el modelo con mayor capacidad de carga (830E), la fuerza se determina de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \text{peso de la tolva} &= 33\ 664\ \text{kg} \\
 \text{carga nominal de trabajo} &= 233\ 347\ \text{kg} \\
 \text{carga total que levantan los cilindros} \\
 &= \text{peso de la tolva} + \text{carga nominal} \\
 \text{carga total} &= 267\ 011\ \text{kg} \\
 \text{carga por cilindro} &= \frac{267\ 011\ \text{kg}}{2} = 133\ 505.5\ \text{kg}
 \end{aligned}$$

La presión de trabajo con la que se desea que opere el cilindro será 250 bar, esta presión de trabajo es recomendada para aplicaciones de hidráulica móvil y a la vez va acorde con un diseño compacto.

$$P_{op} = 250\ \text{bar} = 25\ \text{N/mm}^2$$

La presión de operación será ejercida por el embolo de acuerdo al esquema del concepto 3, teniendo esto en cuenta, el diámetro del pistón se estima de forma preliminar de la siguiente manera:

$$Area_{pistón} = \frac{F}{P_{op}} = \frac{133505.5 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{s^2}}{25 \frac{N}{mm^2}} = 52387.55 \text{ mm}^2$$

$$D_{pistón} = \sqrt{\frac{4 * Area_{pistón}}{\pi}} = 258 \text{ mm}$$

Otra de las condiciones a las que se genera una fuerza considerable sobre el cilindro de doble efecto será durante las pruebas de fugas internas. Por ello, se verificará que la fuerza resultante en ambos casos no supere la fuerza con la que se determinó el área del pistón.

En el caso de las fugas internas, la fuerza se originará cuando el cilindro de prueba este totalmente retraído producto de que el cilindro de doble efecto le aplica una fuerza contraria a su desplazamiento. Dicho esto, la fuerza que ejerza el cilindro de doble efecto debe ser mayor o igual a la presente en el cilindro telescópico producto de la presión de prueba. Las condiciones a las que se dan estas pruebas serán:

$$presión \text{ del cilindro de prueba} = 2500 \text{ PSI} = 17.2 \text{ N/mm}^2$$

$$Area \text{ de trabajo} = \frac{\pi * D_{int}^2}{4} = \frac{\pi * (330\text{mm})^2}{4}$$

$$Area \text{ de trabajo} = 85\,529 \text{ mm}^2$$

$$Fuerza \text{ resultante} = (\text{Presión del cilindro de prueba}) * (\text{Area de trabajo})$$

$$Fuerza \text{ resultante} = 1\,471\,113 \text{ N}$$

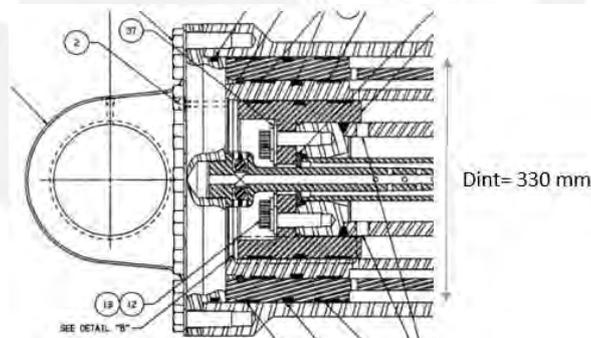


Fig 31. Diámetro interior del cilindro  
Fuente: (Komatsu American Corp, 2001)

De acuerdo a la obtenido, la fuerza presenta en las pruebas por fugas internas supera la fuerza de operación con carga máxima del cilindro, por lo que se tendrá que volver a realizar el cálculo del área del pistón de acuerdo al siguiente detalle.

$$Area_{pistón} = \frac{F}{P_{op}} = \frac{1471\,113 \text{ N}}{25 \frac{N}{mm^2}} = 58844 \text{ mm}^2$$

$$D_{pistón} = \sqrt{\frac{4 * Area_{pistón}}{\pi}} = 273 \text{ mm}$$

A partir de los valores preliminares de presión y diámetro del vástago, se puede iniciar la selección del cilindro de doble efecto según se detalla a continuación:

**Actuador doble efecto: CDH2/CGH2**

Norma: DIN 24333 / ISO 6022

Tipo de sujeción: pivotado atrás

Presión: 250 bar

Dimensiones del cilindro:

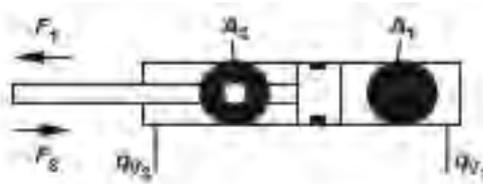


Fig 32. Esquema de dimensiones en cilindros hidráulicos (MANNESMANN REXROTH, 1996)

De acuerdo al cálculo previo del diámetro del pistón, se obtuvo que su diámetro debía superar los 273 mm, esta medida quedó determinada por la fuerza necesaria que soportará el cilindro (147 kN aprox.). Considerando la norma ISO 6022 (MANNESMANN REXROTH, 1996), el cilindro con diámetro mayor y más cercano a 273 mm será el de 320 mm de diámetro de pistón y 200 mm de diámetro de vástago. A continuación se presentan el detalle de las medidas y fuerzas correspondientes al cilindro elegido.

Tabla 9. Valores de área y fuerza para Dvástago= 320 mm

AL Ø mm	MM Ø mm	$\phi$ $A_1/A_3$	$A_1$ cm <sup>2</sup>	$A_2$ cm <sup>2</sup>	$A_3$ cm <sup>2</sup>	$F_1$ kN	$F_2$ kN	$F_3$ kN
320	200	1,64	804,2	314,1	490,1	2010,6	785,4	1225,2
	220	1,90		380,1	424,2		950,3	1060,3

(MANNESMANN REXROTH, 1996)

Seguidamente, para validar su selección se procede a realizar su cálculo por pandeo.

El pandeo es posible en este cilindro debido a que está sometido a cargas de compresión al tener el efecto de carga en el cilindro de prueba. Por ello, es necesario verificar la fuerza de pandeo para evitar su colapso. Considerando una esbeltez  $\lambda_b \geq 90$ , se puede aplicar la ecuación de Euler de la siguiente manera (Barriga Gamarra, Elementos básicos de oleohidráulica, 1986):

$$F_k = \frac{\pi^2 EI}{L_p^2 S}$$

Donde:

$F_k$ : Carga de pandeo. N

$E$ : Módulo de elasticidad,  $N/mm^2 = 2.1 \times 10^5 N/mm^2$  para acero

$I$ : Momento de inercia,  $mm^4$ ,  $I = \pi * d^4 / 64$

$L_p$ : Longitud libre de pandeo, depende de la carrera y del tipo de sujeción.

$h$ : Carrera.

$k$ : Factor según el tipo de sujeción.  $L_p = k * h$

$S$ : Factor de seguridad. Se asumirá un factor de seguridad de 5.

De acuerdo a la selección,  $d_{vástago} = 200 mm$

Se obtiene:  $I = \pi * \frac{d^4}{64} = 78,539,816.33 mm^4$

La carrera del cilindro se obtuvo anteriormente para determinar el rango de medición de del sensor de desplazamiento.

$h = 2350 mm$

El tipo de sujeción especificado: pivotada atrás con vástago guiado.  $K=2$ ; referencia: consultar anexo: sujeción de cilindros hidráulicos.

$L_p = 2350 * 2 = 4700 mm$

$$F_k = \frac{\pi^2 * 2.1 \times 10^5 \frac{N}{mm^2} * 78,539,816.33 mm^4}{(4700 mm)^2 * 5} = 1,473,815.77 N$$

Esta fuerza se compara con la fuerza máxima que se produce en el sistema, la fuerza resultante debe ser menor a la fuerza de pandeo para que se verifique que el cilindro no colapsa a las condiciones establecidas. La fuerza resultante máxima obtenida anteriormente es:

*Fuerza resultante* ( $F_{res}^{max}$ ) = 1,471,113 N

Se comprueba:  $F_{res}^{max} < F_k$

Por tanto se puede concluir que usando un Factor de seguridad igual a 5, el cilindro seleccionado podrá trabajar a las condiciones establecidas por el sistema de pruebas.

Para mayor referencia sobre el cilindro seleccionado, se puede consultar la guía del fabricante presente en el anexo 5 de este documento.

### **Programador PLC**

El primer aspecto a considerar para la selección de un controlador PLC es el número de entradas y salidas que se necesitan y el tipo de estas, ya sean analógicas o digitales, según lo detallado en el concepto de solución, se tendrán las siguientes entradas y salidas

Tabla 10. Puertos de entrada y salida del controlador

		Tipo	Descripción	Etiqueta	
Entradas	PC/HMI	Digital	Modelo del cilindro 730	M2.0	
			Modelo del cilindro 830	M2.1	
	Sensores	Analógica	Digital	Parada de emergencia	I0.0
			Analógica	Transductor de presión del cilindro de prueba	IW0
				Transductor de presión del actuador	IW1
				Transductor de caudal del cilindro de prueba	IW2
				Transductor de desplazamiento del cilindro de prueba	IW3
Salidas	Actuadores	Digital	Bobina de salida on/off cilindro de prueba	Q0.0	
			Bobina de ingreso on/off cilindro de prueba	Q0.1	
			Bobina de ingreso on/off del actuador	Q0.2	
			Bobina de salida on/off del actuador	Q0.3	
			Bobina de conexión del transmisor de caudal	Q0.4	
	Analógica	Analógica	Válvula limitadora de presión proporcional del cilindro de prueba	AW0	
			Válvula limitadora de presión proporcional del actuador	AW1	
			Válvula de conexión proporcional del actuador	AW2	
	Adicional	HMI	Ethernet	Puerto Ethernet	

Fuente: Elaboración propia

Considerando las entradas y salidas señaladas y salidas mostradas, el PLC a seleccionar debe contar con un mínimo de:

- 5 Salidas digitales
- 2 entradas digitales
- 3 salidas analógicas
- 4 entradas analógicas
- puerto Ethernet.

Las conexiones entre los sensores, actuadores y el PLC se darán de la siguiente manera.

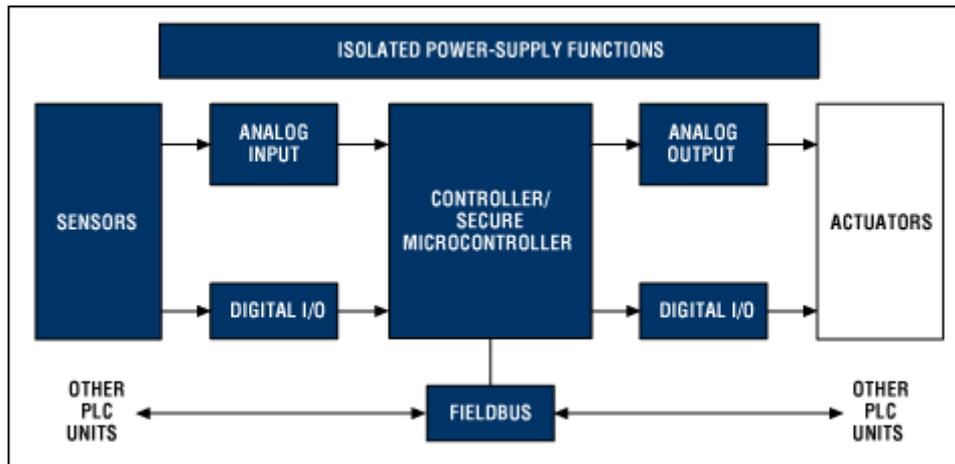


Fig 33. Diagrama de bloques PLC  
Fuente: (Wright, 2010)

Otro aspecto a considerar en la selección del controlador es la memoria del programa y la capacidad de almacenamiento. Por la cantidad de entradas y salidas usadas, la capacidad de almacenamiento del programa no debe ser menor de 1MB (Wright, 2010). El protocolo acostumbrado de comunicación entre el PLC y una PC u otros PLC's es el puerto Ethernet. Este requisito es importante para lograr que las variables del sistema se comuniquen al usuario por medio de una interfaz.

El software que use el PLC a menudo depende de la marca que lo produce. Este no es un factor determinante ya que también puede ser adquirido de forma gratuita si el programa se va a cargar en el PLC de forma ejecutable. Ligado al software se encuentra la escalabilidad que tendrá el proyecto a futuro, este factor permite aumentar el alcance que tendrá una solución y queda determinado por el controlador y el diseño.

Otro de los factores determinantes para la selección al PLC son los referidos al precio y al servicio técnico que brinda el fabricante, estos factores particulares serán detallados en el presupuesto del proyecto.

### **Cálculo del consumo de corriente en el PLC**

El cálculo del consumo de corriente presentado incluye una CPU 1214C DC/DC/DC, 1 módulos de señales SM 1231 de 4 entradas analógicas de relé, así como un módulo de señales SM 1232 de 4 salidas analógicas. Tanto el CPU como sus módulos fueron previamente pre- seleccionados al cumplir los requisitos de Número de entradas/ salidas y la escalabilidad del sistema. El cálculo del consumo de corriente se realiza según el manual del fabricante para las series de PLC's S7-1200 (SIEMENS SYSTEMATIC, 2009).

Nota: La corriente necesaria para accionar las bobinas de relé internas y la alimentación para las válvulas y sensores se dará por medio de una fuente de alimentación externa. Por tanto, no es necesario incluir el consumo de corriente de estos en el cálculo.

Tabla 11. Consumo de corriente en el PLC

Corriente disponible de la CPU	5 V DC	24 V DC
CPU 1212C DC/DC/DC	1000 mA	300 mA
Menos		
Consumo del sistema	5 V DC	24 V DC
CPU 1212C, 8 entradas		8*4 mA = 32 mA
CPU 1212C, 5 salidas	6*13.3 mA= 79.8 mA	
1 SM 1231, 5 V	1 * 80 mA	
1 SM 1232, 5 V	1 * 80 mA	
1 SM 1231, 4 entradas		45 mA
1 SM 1232, 3 salidas		45 mA
Consumo total	240 mA	122 mA
Igual a		
Balance de corriente	5 V DC	24 V DC
Balance total de corriente	760 mA	178 mA

Fuente: Elaboración Propia

La CPU suministra corriente necesaria en los dos niveles de voltaje con que se trabaja. Para el caso de las salidas digitales, estas activarán relés de estado sólido encargados de alimentar las válvulas direccionales del sistema. Asimismo, las señales analógicas de entrada y salida serán soportadas por los de módulos SM 1231 y SM 1232. La alimentación de estos módulos es directamente suministrada por el PLC como se muestra en la tabla 11. El cálculo mostrado permite afirmar el CPU seleccionado puede suministrar la corriente necesaria para gobernar las señales de control del sistema, por lo que no será necesario un módulo que aumente la capacidad eléctrica del PLC.

Validados los requisitos del PLC, el CPU seleccionado se presenta a continuación:

### **Controlador PLC: SIMATIC S7-1200 CPU 1212C**

Aplicación: Automatización industrial

Entradas y Salidas:

Digitales: 8 entradas / 6 salidas

Analógicas: 2 entradas

Ampliación con módulos posibles: 2

Memoria de trabajo: 50 KB

Memoria de carga: 2 MB

Tipos de comunicación: Ethernet / RS232

Software de supervisión y control: SCADA

Rango de tensión en salida: 5 a 30 VDC

Marca: Siemens

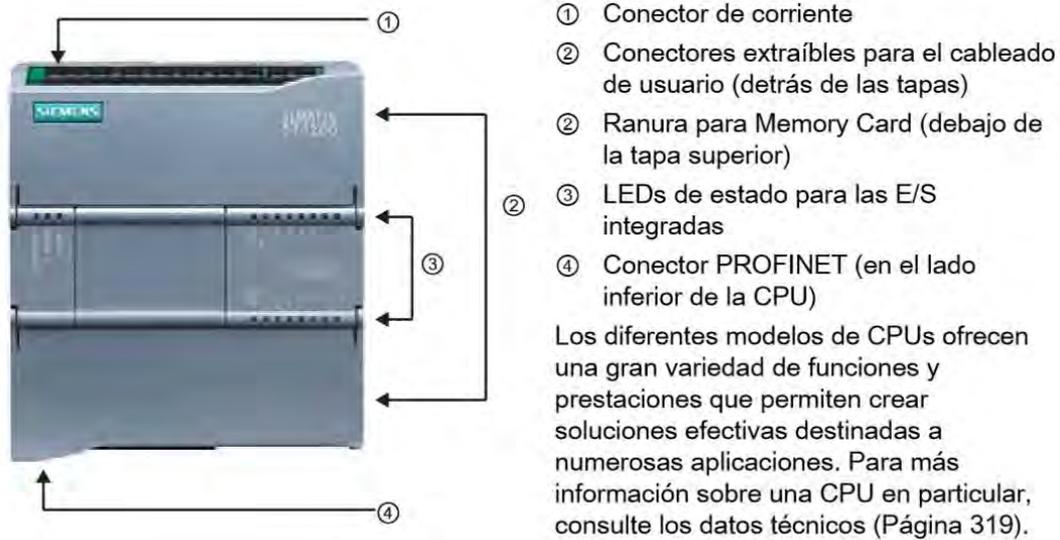


Fig 34. Conexiones PLC S7-1200 (Michie, 2016)  
 Fuente: (SIEMENS SISTEMATIC, 2009)

De acuerdo a las características señaladas del PLC, será necesario un módulo adicional de salidas y entradas analógicas.

De lo detallado en los parámetros de selección, se necesita que el controlador sea capaz de manejar: 4 entradas analógicas, 3 salidas analógicas, 2 entradas digitales y 5 salidas digitales. Se selecciona un módulo para la ampliación de señales acorde a las necesidades del sistema:

Según el manual del controlador, se tienen los siguientes módulos de señales (Tabla 10) que se pueden acoplar de forma compatible con el controlador, cabe señalar que al CPU seleccionado solo se pueden añadir un máximo de 2 módulos.

Tabla 12. Módulo de señales S7-1200

Módulo		Sólo entradas	Sólo salidas	Entradas y salidas
Módulo de señales (SM)	Digital	8 entradas DC	8 salidas DC 8 salidas de relé	8 entradas DC/8 salidas DC 8 entradas DC/8 salidas de relé
		16 entradas DC	16 salidas DC 16 salidas de relé	16 entradas DC/16 salidas DC 16 entradas DC/16 salidas de relé
	Analógico	4 entradas analógicas 8 entradas analógicas	2 salidas analógicas 4 salidas analógicas	4 entradas analógicas/2 salidas analógicas
Signal Board (SB)	Digital	-	-	2 entradas DC/2 salidas DC
	Analógico	-	1 salida analógica	-
Módulo de comunicación (CM)				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• RS485</li> <li>• RS232</li> </ul>				

Fuente: (SIEMENS SISTEMATIC, 2009)

Se seleccionará un módulo de solo entradas analógicas y un módulo de solo salidas analógicas de manera que se complete las E/S necesarias para controlar el sistema. Los módulos mencionados son:

**-SM 1231:**

Número de Entradas: 4 AI

Niveles de entrada: +/-10V, +/-5V, +/-2.5V, O 0-20MA/4-20 MA,

Resolución: 12 BIT + SIGNO (13 BIT ADC)

Consumo de corriente a 24 VDC: 45 mA



*Fig 35. Módulo SM 1231  
Fuente: (SIEMENS SISTEMATIC, 2009)*

**-SM 1232:**

Número de Salidas: 4 AO

Niveles de Salida: +/-10V, O 0 - 20 MA/4 - 20 MA

Resolución: 13 BIT

Consumo de corriente a 24 VDC: 45 mA



*Fig 36. Módulo SM 1232  
Fuente: (SIEMENS SISTEMATIC, 2009)*

Con los módulos adicionados, el sistema puede operar las variables que se definieron en la estrategia de control. Además, los sensores y actuadores seleccionados tienen niveles tanto de alimentación como de señales de entrada y

salida compatibles con el controlador y sus periféricos, por lo que su conexión se podrá dar de forma directa o por medio de relés.

**Visualizador: KTP 600 Basic PN**

Aplicación: Automatización industrial

Pantalla táctil de 6 pulgadas con 6 teclas táctiles

Resolución: 320 x 240

Variables manejables: 128

Alarmas: 250

Memoria: 32 KB memoria de recetas.

Comunicación: Profinet



*Fig 37. Visualizador HMI: KPT 600  
Fuente: (SIEMENS SISTEMATIC, 2009)*

**Cálculo de la potencia de alimentación necesaria:**

El sistema requiere una fuente de alimentación externa que entregue potencia tanto al PLC como a los sensores y actuadores que lo requieran. Para ello, se cuantificará la potencia necesaria que debe tener la fuente para que opere de forma continua, considerando la potencia que disipa todos los componentes que intervienen en el sistema.

Se elaboró una lista con los componentes principales y su potencia de disipación:

Tabla 13. Consumo de potencia

Componente	QTY	Supply Voltage	Potencia disipada (VA)	Potencia disipada (Watts) FP:0,8	Potencia Sub-total (Watts)	Corriente consumida (mA)	Corriente Sub-total (mA)
PLC	1	24 VDC	-	9	9	375	375.0
Electro-válvula distribuidora 4/3	2	24 VDC	-	30	60	1250	2500.0
Electro-válvula distribuidora 2/2	1	24 VDC	-	17	17	708	708.3
Válvula de alivio proporcional	2	24 VDC	40	32	64	1333	2666.7
Sensores de presión	2	24 VDC	-	0.48	0.96	20	40.0
Sensor de caudal con display	1	24VDC	-	4.8	4.8	200	200.0
Sensor de desplazamiento	1	24 VDC	-	2	2	83	83.3
					157.76		6573.3

Fuente: Elaboración propia

De lo mostrado, la potencia que se requiere de la fuente debe ser de por lo menos 160 Watts, con una corriente de operación superior a 6.5 A. A la vez, la salida de la fuente tiene que ser cercana al voltaje nominal con el que operan los sensores y actuadores (24 VDC en su mayoría).

Considerando el cálculo de potencia mostrado, a continuación se detalla las características principales de la fuente de alimentación seleccionada.

**Fuente de Alimentación: HRP-200-24**

Considerando lo señalado previamente en el cálculo de la potencia de la fuente de alimentación, se selecciona la siguiente fuente DC regulada.

Voltaje de Salida: 24

Corriente nominal: 8.4 A

Potencia nominal: 200 W

Alimentación: 220 AC

Frecuencia: 60 Hz

Temperatura de trabajo: -25 a 70 °C



Fig 38. Fuente de alimentación HRP-200-24  
Fuente: (Mean Well, 2011)

Asimismo, se procede con la selección del botón de emergencia y los relés con que se activen las bobinas. Esta elección se desarrolló considerando los aspectos técnicos y económicos en distintas marcas relacionadas a la automatización industrial con PLC. A continuación se describe cada uno de los componentes seleccionados.

#### **Parada de emergencia: XB7ES542P**

La finalidad de este interruptor es llevar el sistema a un estado de reposo ante una eventual situación no controlada que amerite detener la ejecución de las pruebas. Como parámetros de selección se tendrá lo siguiente: el interruptor deberá soportar la potencia que disipa el sistema y alimentarse con los niveles de voltaje que la fuente ofrece

Accionamiento: Enclavamiento mecánico

Tensión de aislamiento: 250 V

Estado: Normalmente cerrado

Marca: Schneider



Fig 39. Parada de emergencia.  
Fuente: (Schneider Electric, 2016)

### **Relé de estado sólido: EL100D10-05**

Estos relés serán usados para energizar las bobinas de los solenoides a partir de la señal de control enviada por el PLC. Internamente cuenta con un foto-triac que aísla los circuitos de control y de potencia.

Corriente de entrada: 13.3 mA

Corriente de salida: 10 A (Máx.)

Temperatura de operación: -30 a 80 °C

Frecuencia de operación máxima: 45 Hz

Tiempo de respuesta: 10 ms

Voltaje máximo: 100 VDC



*Fig 40. Relé de estado sólido: EL100D10-05  
Fuente: (Shrap Technology, 2004)*

## CAPÍTULO 4

### PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR

En este capítulo, se elaboró la filosofía de control a la que responde el PLC seleccionado. La filosofía de control responde a la secuencia de operaciones que presenta el sistema y las variables que fueron necesarias para definir los estados del sistema. Seguidamente se presenta la programación del controlador en lenguaje escalera y el escalamiento que deben tener las señales de acuerdo a su rango de operación. De esta forma, en este capítulo, se integran todos los componentes que forman parte del sistema y se comunican con el controlador.

#### 4.1. Filosofía de control

La filosofía de control tendrá como base la secuencia de operaciones detallada en el capítulo 2. En este capítulo se precisará cada una de las fases en la secuencia de operaciones y cómo interactúan las variables en el sistema de acuerdo a la estructura de funciones.

Fases de la secuencia de Operación:

- Selección del modelo del cilindro
- Aplicar carga al cilindro
- Extender etapas del cilindro
- Variar sentido de desplazamiento (retracción- extensión)
- Retraer etapas del cilindro
- Prueba de fugas internas
- Prueba de fugas externas
- Setear el sistema en reposo y Generar reporte de prueba

} Ciclo de desplazamiento del cilindro

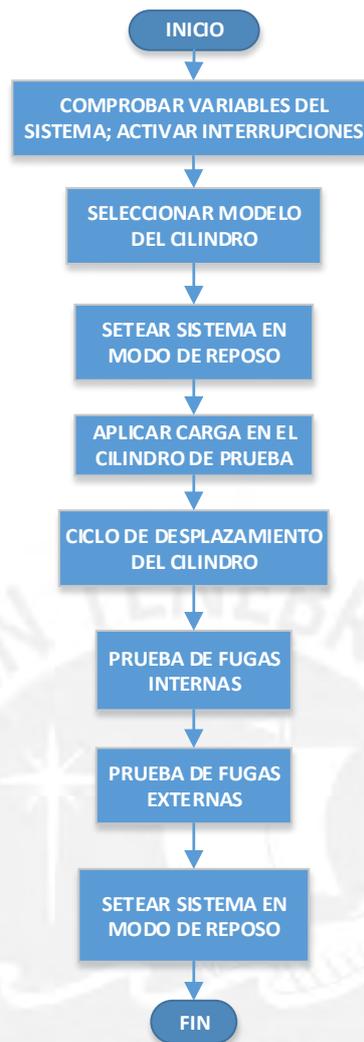


Fig 41. Diagrama de flujo: programa principal  
Fuente: Elaboración propia

Se presenta el diagrama de flujo del programa principal, en él se observa se observa que la prueba se desarrolla de forma secuencial. La primera etapa verifica que las variables del sistema (presión, desplazamiento) se encuentren en sus valores de origen para que la prueba pueda dar inicio. A continuación se detalla cada una de las etapas que conforman el desarrollo de la prueba.

#### **Selección del modelo del cilindro:**

Esta etapa tiene como entrada la elección del usuario, quien determina el modelo que se desea probar a través de la interfaz HMI conectado al PLC. Para esta etapa el cilindro aún no está montado en el banco de pruebas. Siendo esta la primera fase en la secuencia de operaciones, se mostrará en la interfaz a la espera de que el usuario haga la elección para poder proceder con la prueba. El modelo se guardará en la memoria interna del PLC, y de acuerdo a este se determinará las siguientes variables que se cargarán al sistema:

- Tiempo de prueba: MD1
- Longitud del cilindro extendido: MD2

- Longitud del cilindro contraído: MD3
- Presión máxima de operación: MD4
- Presión prueba para fugas externas:MD6
- Carga del cilindro:MD7
- Fugas internas permitidas:MD8
- Fugas externas permitidas:MD9

A cada variable se le fue asignada una dirección de memoria del PLC para que luego sea representada en la programación del controlador. A la vez, se definen las siguientes variables que serán usadas en el diagrama de flujo y serán entradas para la programación:

- Modelo del cilindro 730: M2.0
- Modelo del cilindro 830: M2.1

Los diagramas de flujos relacionados a esta etapa se muestran a continuación:

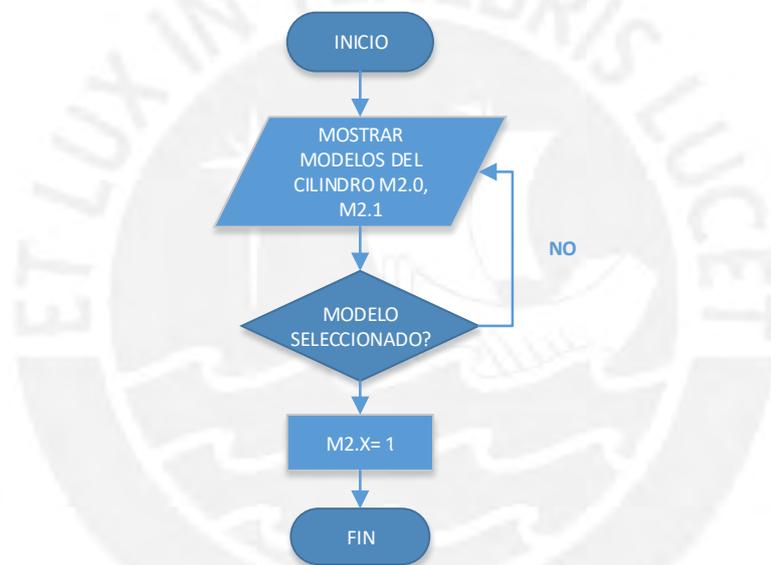


Fig 42. Diagrama de flujo: Selección del modelo del cilindro  
Fuente: Elaboración propia

La operación mostrar modelos del cilindro se ejecutara por medio de la plataforma HMI y se ejecutará hasta que el usuario haga una elección. A partir de ella, se cargarán las variables de prueba en el sistema

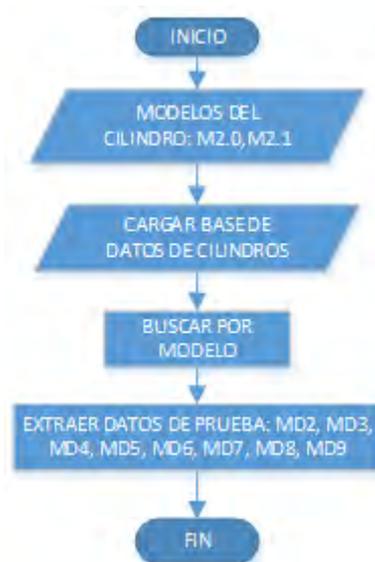


Fig 43. Diagrama de Flujo: Carga de Datos de prueba  
Fuente: Elaboración propia

Como ya se mencionó, la carga se desarrolla a partir del modelo del cilindro seleccionado. Para ello, los datos de prueba de los dos cilindros deben estar almacenados previamente en la memoria del CPU.

### Setear el sistema en reposo

Esta fase consiste en regular el sistema de manera que se pueda montar el cilindro de prueba en el banco. Montado el cilindro, se espera la confirmación del usuario para iniciar con la prueba. Como entrada para esta etapa se recibe la longitud del cilindro contraído (MD3), cargado previamente a la memoria interna del PLC. Según la medida, se desplaza el actuador de doble efecto hasta la distancia necesaria en que el cilindro se pueda montar de forma práctica. Se entiende que para regular la posición del actuador, se tomará lectura del sensor de desplazamiento conectado al PLC. Seguidamente, para reducir al mínimo la potencia del sistema, se fijará al mínimo la presión en las válvulas limitadoras, de manera que el aceite pase directamente al tanque. A la vez, finalizado el posicionamiento del actuador, las válvulas distribuidoras se encontrarán en su posición de reposo. Las variables usadas en esta fase son:

- Longitud de cilindro contraído: MD3
- Longitud Real del cilindro: MD16
- Posición de la válvula distribuidora actuador:
  - Actuador Avanzando: M04 ;
  - Actuador Retrocediendo: M05
- Posición de la válvula distribuidora del cilindro:
  - Cilindro Avanzando: M06 ;
  - Cilindro Retrocediendo: M07
- Presión de las válvulas Limitadoras
  - Presión en válvula limitadora cilindro de prueba: MD22
  - Presión en válvula limitadora Actuador: MD26

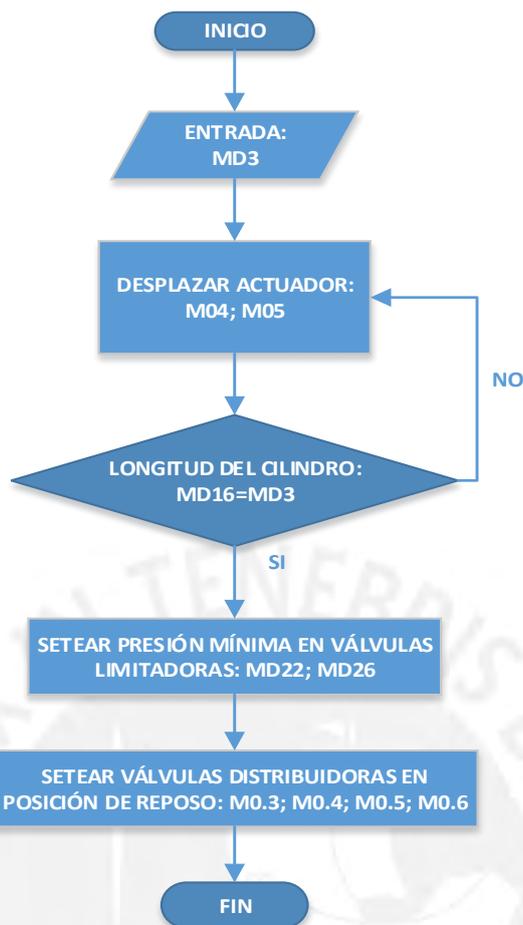


Fig 44. Diagrama de flujo: Setear sistema en reposo  
Fuente: Elaboración propia

Cómo se observa en el diagrama, si bien el cilindro de prueba aún no se encuentra montado, el actuador se desplazará hasta que los terminales del banco lleguen a la posición adecuada para montar el cilindro (contraído). Una vez alcanzada la posición de montaje, los actuadores pasan a un estado de reposo para reducir el consumo de energía mientras el operario ubica el cilindro y da la confirmación de inicio de la prueba.

### Aplicar carga sobre el cilindro

Esta fase recibe como entrada inicial la confirmación del usuario para proceder con la prueba, seguidamente se procesará el dato de la carga con la que opera el cilindro para fijar la válvula limitadora de alivio proporcional conectada en el retorno del actuador de doble efecto. A la vez, se fijan al nivel de operación de 2500 psi (172 bar) en las válvulas limitadoras tanto en el circuito del cilindro de prueba como en actuador. Según lo mencionado, las variables usadas en esta fase son:

- Confirmación del usuario para inicio de prueba: M21.0
- Carga en el cilindro: MD7
- Presión máxima de operación cilindro de prueba: MD22
- Presión máxima de operación actuador: MD26
- Presión válvula de conexión: MD30

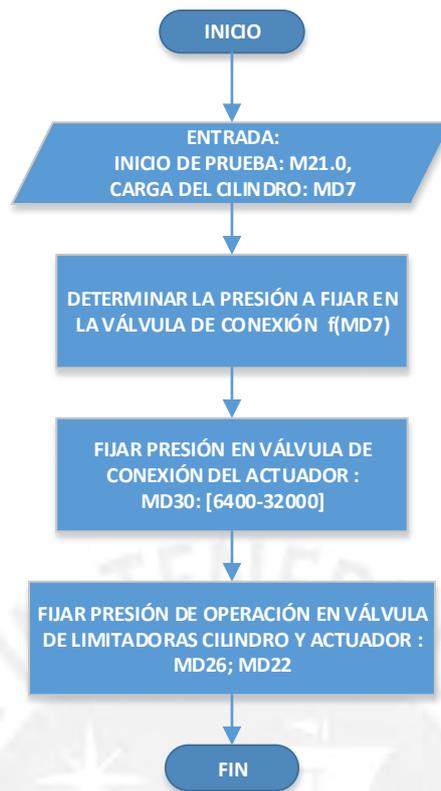


Fig 45. Diagrama de Flujo: Aplicar carga sobre cilindro  
Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó en el desarrollo del concepto, la carga inicial es aplicada al cilindro de prueba al emplear al actuador como amortiguador por medio de la válvula de conexión proporcional. De esta manera, la carga que se desea aplicar al cilindro (MD7) tendrá una relación directa con la presión a la que se fije la válvula de conexión (MD30). Para efectos del PLC, la señal de presión que se desea fijar tendrá que escalarse a un valor entre [6400-32000], que corresponde al rango de la salida analógica del CPU.

### Ciclo de desplazamiento del cilindro

Esta etapa incluye la extensión del cilindro y su contracción, repitiéndose de forma cíclica según lo especificado por el protocolo de pruebas, el ciclo siempre terminará con el cilindro totalmente extendido. Esta fase recibirá como entrada la longitud del cilindro extendido y contraído, así como la lectura del sensor de desplazamiento conectado al cilindro de prueba. La variable que se manipula durante esta etapa es el sentido de desplazamiento del cilindro, cuyo valor se modificará cada vez que la longitud del cilindro medida por el sensor sea igual a la longitud del cilindro extendido o contraído. De acuerdo al sentido de desplazamiento, se modificará la posición de las válvulas distribuidoras. Según lo mencionado, las variables que intervienen en esta etapa serán:

- Longitud del cilindro extendido: MD2
- Longitud del cilindro contraído: MD3
- Longitud real del cilindro: MD16
- Posición de la válvula distribuidora actuador:

- Actuador Avanzando: M04 ;
- Actuador Retrocediendo: M05
- Posición de la válvula distribuidora del cilindro:
  - Cilindro Avanzando: M06 ;
  - Cilindro Retrocediendo: M07
- Fin de carrera del cilindro:
  - Totalmente extendido: M0.2
  - Totalmente retraído: M0.3
- Ciclo de desplazamiento terminado: M1.1

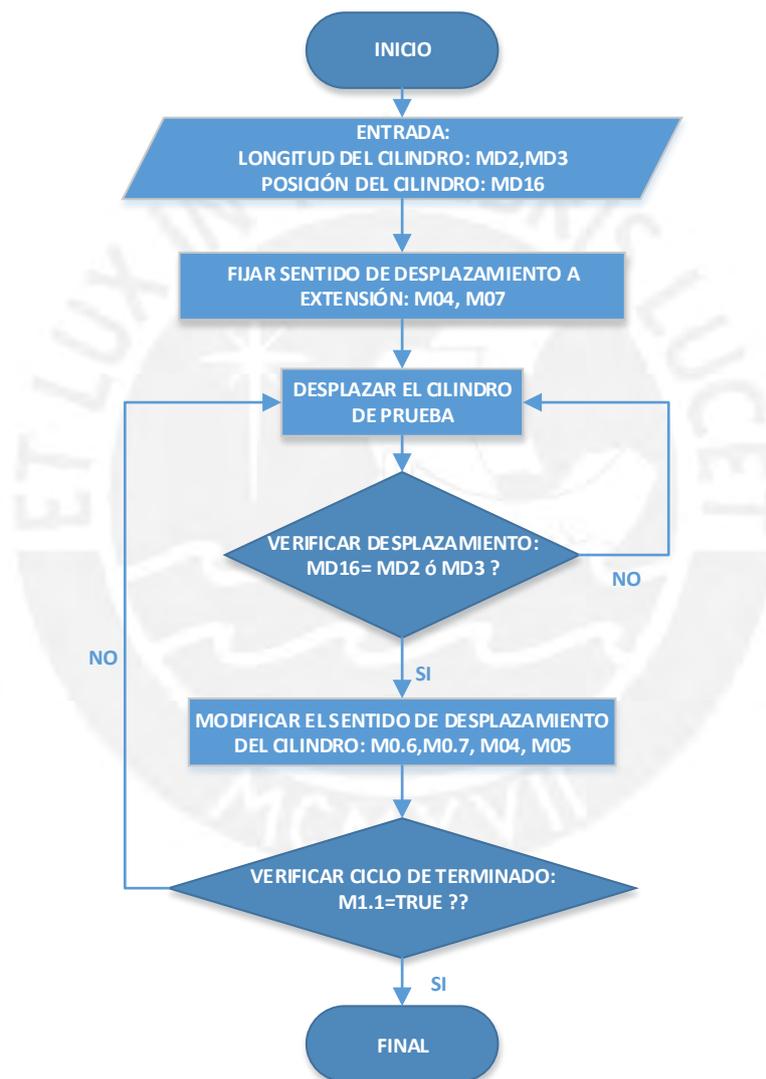


Fig 46. Diagrama de flujo: Ciclo de desplazamiento del cilindro  
Fuente: Elaboración propia

Según especificaciones del fabricante, el número de ciclos que debe probar un cilindro es de 8, por lo que este valor será ingresando directamente en la programación. De esta manera, la variable “ciclo de desplazamiento terminado se activará” cuando el contador llegue al valor especificado. Así mismo, cada vez que

el cilindro llegue a uno de sus extremos (extendido o contraído), se activarán los indicadores de fin de carrera en el HMI y el sentido de desplazamiento cambiará.

### **Prueba de fugas internas**

La siguiente etapa en el proceso es la prueba de fugas internas en el cilindro, para ello se reciben como parámetro de entrada las fugas permitidas cuando el cilindro está totalmente contraído o extendido. En esta prueba se debe fijar la posición del cilindro cuando esté totalmente contraído, es decir se tendrá que trabar su extensión usando el actuador de doble efecto. Tal como se mencionó en el desarrollo del concepto, el actuador genera una fuerza contraria al desplazamiento del cilindro de prueba, esto genera que el aceite fugue por los intersticios entre el émbolo y las paredes del cilindro. Estas fugas se manifestarán en forma de caudal y serán monitoreadas por el transductor de caudal conectado al retorno al tanque en el circuito del cilindro de prueba. Las presiones a las que se fijen las válvulas limitadoras dependerán de lo especificado por los manuales del cilindro de prueba. En el caso del actuador deberá ser una presión que permita fijar el cilindro a su posición retraída. El circuito del cilindro se alimentará de la misma forma que durante su extensión, por lo que las válvulas distribuidoras también serán manipuladas. La prueba se desarrollará durante el tiempo necesario que permita obtener un promedio del caudal que se origina por las fugas internas. Este valor es almacenado en la memoria del PLC para generar el reporte de prueba. Seguidamente, el actuador deja de ejercer fuerza en contra del movimiento del cilindro (esto se logra variando la presión en la limitadora de su circuito), por lo que el cilindro de prueba se desplaza hasta llegar a su posición totalmente extendida. El cilindro es alimentado de caudal hasta llegar a la presión de fugas internas. Al igual que en el caso anterior, al estar limitado su desplazamiento habrá presencia de fugas internas que se evidenciarán en forma de caudal. El registro tomado por el transductor también será almacenado por el PLC para compararlo con los valores estándar. Esta etapa finaliza al devolver al cilindro a su posición totalmente contraída. Según lo descrito, las variables que intervienen en esta fase son:

- Tiempo de prueba fugas internas: MD1
- Posición de la válvula distribuidora actuador:
  - Actuador Avanzando: M04 ;
  - Actuador Retrocediendo: M05
- Posición de la válvula distribuidora del cilindro:
  - Cilindro Avanzando: M06 ;
  - Cilindro Retrocediendo: M07
- Presión en válvula limitadora del cilindro : MD4
- Presión en válvula limitadora del actuador: MD5
- Presión real en el cilindro: MD14
- Presión real en el actuador: MD15
- Fugas internas permitidas en el cilindro: MD11
- Caudal en el retorno al tanque del cilindro: MD17

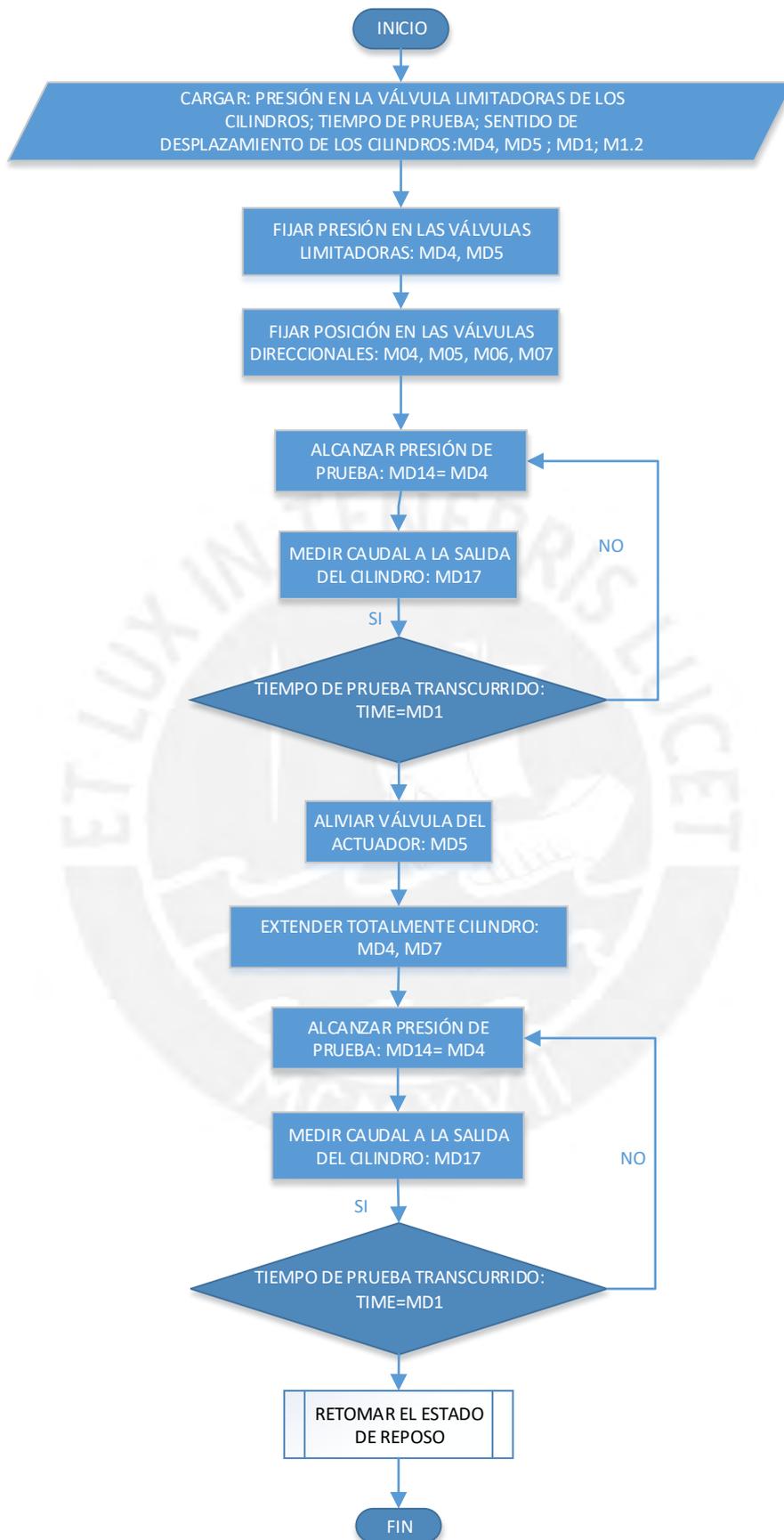


Fig 47. Diagrama de flujo: Prueba de fugas internas  
Fuente: Elaboración propia.

## Prueba de fugas externas

La prueba de fugas externas se desarrolla teniendo como parámetros de entrada la presión máxima a la que se va a someter al cilindro. El procedimiento es similar a la primera fase de la prueba de fugas internas. Sin embargo, en este caso, el actuador no aplica una fuerza sobre el cilindro, sino que se limita a acompañar su desplazamiento. La prueba se inicia posicionando las válvulas direccionales para extender el cilindro. Una vez que el cilindro alcanza su extensión máxima, la presión del circuito aumentará hasta alcanzar la máxima establecida por la válvula limitadora. Generalmente la presión de prueba de fugas externas es la presión máxima a la que se puede someter el cilindro, por lo que permite verificar la condición de los sellos. La variable que permitirán verificar las fugas externas es la caída de presión que experimente el circuito transcurrido un determinado tiempo (tiempo de prueba) desde que se alcanzó la presión de prueba. Esta caída de presión es mayor si los sellos se encuentran en mal estado, por lo que es importante que se verifique que se encuentre dentro de lo recomendado por el estándar. Esta fase concluye al devolver el sistema a su posición de reposo. De lo mencionado, las variables presentes en esta fase serán:

- Fugas externas permitidas en el cilindro: MD9
- Posición de la válvula distribuidora actuador:
  - Actuador Avanzando: M04 ;
  - Actuador Retrocediendo: M05
- Posición de la válvula distribuidora del cilindro:
  - Cilindro Avanzando: M06 ;
  - Cilindro Retrocediendo: M07
- Presión máxima de prueba cilindro : MD6
- Presión en válvula limitadora del actuador: MD5
- Presión real en el cilindro: MD14
- Presión real en el actuador: MD15

Como señala el diagrama de flujo (Fig. 48), una vez alcanzada la presión de prueba de fugas externas, la posición de la válvula distribuidora del cilindro se bloquea, por lo que su alimentación de flujo se detiene. Durante el tiempo de prueba, un transductor de medirá la variación de la presión en la entrada del cilindro hasta registrar el valor máximo de su caída. Este valor nos dará una medida indirecta de las fugas externas en el cilindro. Finalmente el sistema parte al estado de reposo para reducir el consumo de energía, dando por concluida la parte operativa de la prueba.

Es importante mencionar que durante todo el proceso de prueba se verificará que las variables principales de prueba: presión en los circuitos, desplazamiento del cilindro. Al detectarse una anomalía en el proceso, se generará una alerta en el interfaz que advierta al usuario. A la vez, en todo momento el proceso puede ser detenido activando la parada de emergencia, lo cual llevará al sistema a un estado de reposo.

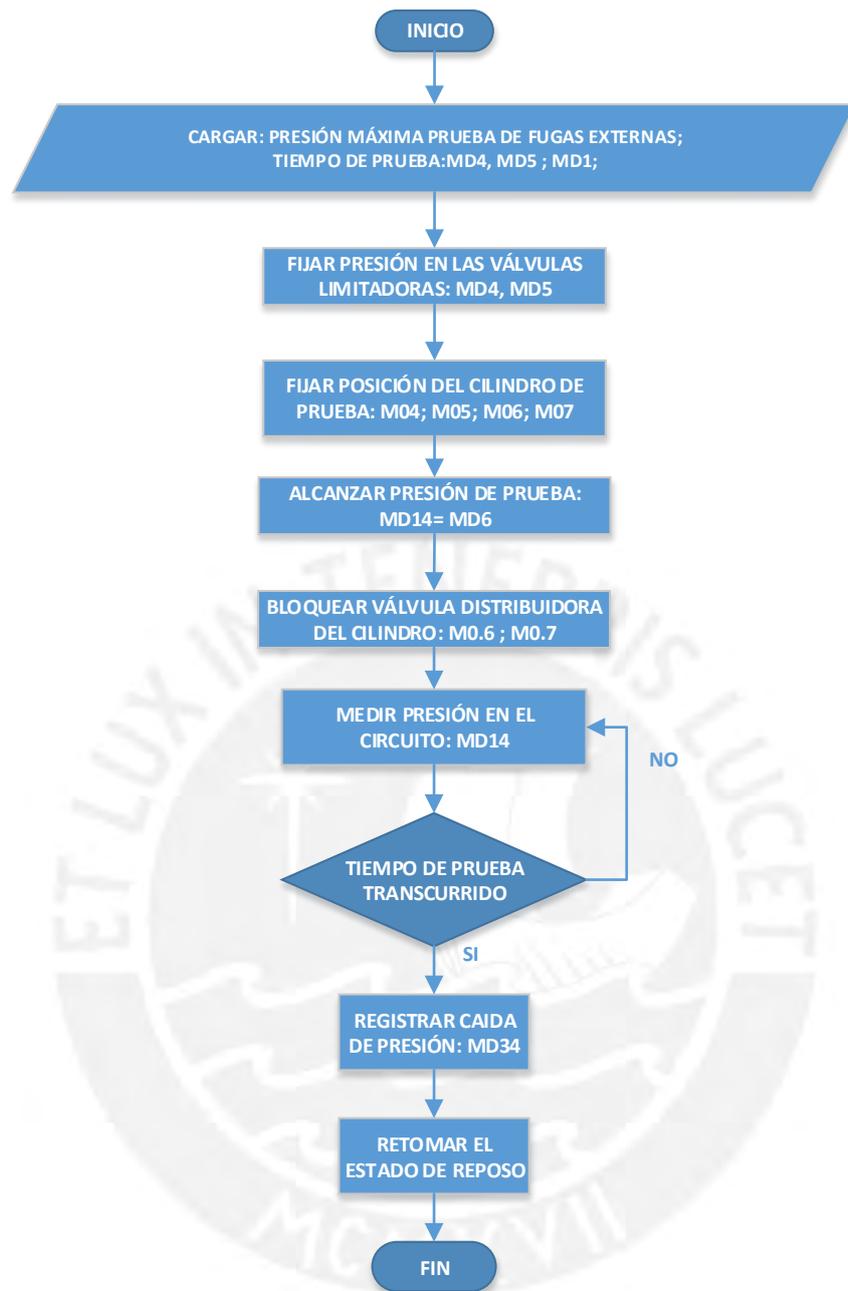


Fig 48. Diagrama de flujo: Prueba de fugas externas  
Fuente: Elaboración propia

Considerando todas las fases mencionados anteriormente, el controlador manejará las siguientes variables internas con su respectivo tipo de datos:

Tabla 14. Variables del sistema

	DESCRIPCIÓN	TIPO	ETIQUETA
VARIABLES DEL SISTEMA	EXTENDER ACTUADOR PARA MONTAJE	Bool	M0.0
	INICIO DE PRUEBA	Bool	M0.1
	FIN DE CARRERA: CILINDRO DE PRUEBA TOTALMENTE EXTENDIDO	Bool	M0.2
	FIN DE CARRERA: CILINDRO DE PRUEBA TOTALMENTE CONTRAÍDO	Bool	M0.3
	ACTUADOR AVANZANDO	Bool	M0.4
	ACTUADOR RETROCEDIENDO	Bool	M0.5
	CILINDRO AVANZANDO	Bool	M0.6
	CILINDRO RETROCEDIENDO	Bool	M0.7
	PRESIÓN DE PRUEBA ALCANZADA	Bool	M1.0
	CICLO DE DESPLAZAMIENTO TERMINADO	Bool	M1.1
	SENTIDO DE DESPLAZAMIENTO	Bool	M1.2
	SISTEMA EN REPOSO	Bool	M1.5
	CONFIRMAR INICIAR CICLO DE PRUEBA	Bool	M21.0
	TIEMPO DE PRUEBA	Time	MD1
	LONGITUD DEL CILINDRO EXTENDIDO	Real	MD2
	LONGITUD DEL CILINDRO CONTRAÍDO	Real	MD3
	DATO PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN CILINDRO DE PRUEBA	Real	MD4
	DATO PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN ACTUADOR	Real	MD5
	DATO PRESIÓN DE PRUEBA PARA FUGAS EXTERNAS	Real	MD6
	DATO DE CARGA DEL CILINDRO	Real	MD7
	DATO DE FUGA INTERNA	Real	MD8
	DATO DE FUGA EXTERNA	Real	MD9
	FUERZA DEL ACTUADOR	Real	MD10
	FUGAS INTERNAS	Real	MD11
	FUGAS EXTERNAS	Real	MD12
	PRUEBA TERMINADA	Real	M21.4
	PRESIÓN EN CILINDRO REAL	Real	MD14
	PRESIÓN EN ACTUADOR REAL	Real	MD15
	LONGITUD DEL CILINDRO REAL	Real	MD16
	CAUDAL DE RETORNO REAL	Real	MD17
	PRESIÓN EN VÁLVULA LIMITADORA CILINDRO DE PRUEBA	Real	MD22
	PRESIÓN EN VÁLVULA LIMITADORA ACTUADOR	Real	MD26
	PRESIÓN EN VÁLVULA DE CONEXIÓN ACTUADOR	Real	MD30
	PRESIÓN FINAL DE PRUEBA FE	Real	MD34

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Secuencia de control en PLC Siemens S7-1200

El desarrollo de la programación en el PLC se dará según el esquema de contactores (KOP), también conocido como lenguaje escalera. En este lenguaje las instrucciones son representadas como símbolos eléctricos que se ejecutan de forma cíclica a lo largo de todo el proceso.

El programa global será dividido en módulos para las tareas específicas, de esta forma se pretende una programación estructurada y con mayor facilidad de hacer modificaciones. Las funciones estarán distribuidas de acuerdo a lo especificado en la filosofía de control y a su representación en los diagramas de flujos.

El software de programación usado para la ejecución del programa será el TIA PORTAL, este programa es una plataforma oficial de Siemens, por lo que permitirá la comunicación directa entre el CPU y sus periféricos, cómo también la intervención del usuario a través del interfaz (HMI). Este interfaz permite crear un portal de supervisión del sistema a partir del desarrollo de la imagen raíz.

Los primeros parámetros a establecer en el programa son los valores usados en las pruebas, y el escalamiento de las lecturas de los sensores para ser usados en el programa. El escalamiento de las entradas y salidas se dará de acuerdo al rango de acción que tenga cada sensor y al rango de entrada y salida que llegue al CPU del PLC. De acuerdo a las especificaciones del módulo de señales analógicas, las entradas y salidas analógicas escalan del rango a intensidad: 0 a 20mA a un rango de valores enviados al PLC de 0 27,648. (SIEMENS SISTEMATIC, 2009)

Por el escalamiento se entiende que la señal eléctrica leída por los sensores se transforme a su equivalente según el tipo de medida tomada: presión, temperatura, posición. De esta forma su valor podrá ser trabajado en el programa del controlador. Considerando los valores de lectura y salida para los sensores y actuadores seleccionados, se tendrán las siguientes curvas de conversión.

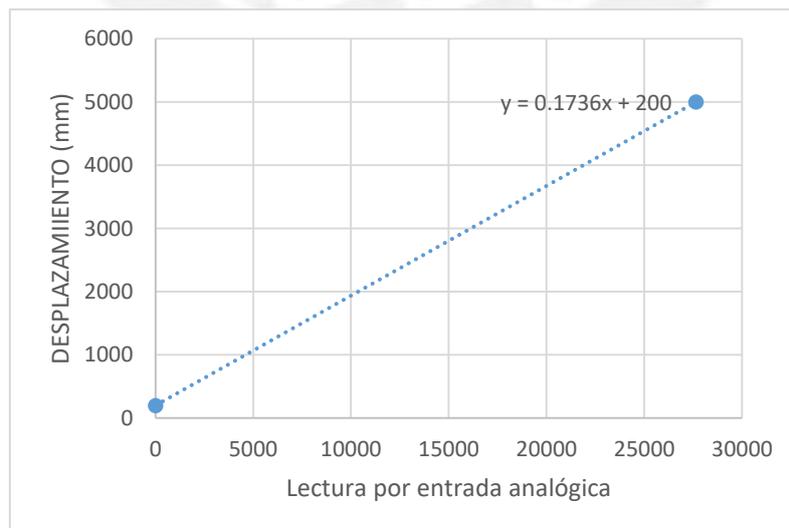


Fig 49. Escalamiento de la lectura del sensor de desplazamiento  
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la Fig. 49, la lectura del sensor tiene el rango de 4 a 20 mA para medidas de 400mm a 5000mm, por lo que la señal deberá ser transformada siguiendo la relación de la recta, con ello se obtiene su equivalente en milímetros, el valor podrá ser comparado con la medidas estándares de los cilindros.

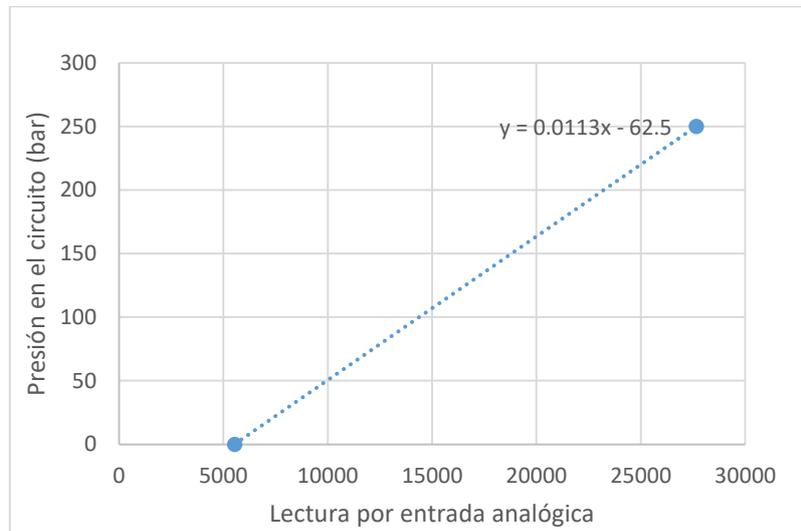


Fig 50. Escalamiento del transductor de presión  
Fuente: Elaboración propia

De forma similar, las medidas de presión estarán escaladas de 4 a 20 mA para valores de 0 a 250 bar. A la vez, el módulo de señales analógicas envía al CPU lecturas en el rango de 5529 a 27,648. Considerando los valores mencionados se obtuvo la curva correspondiente.

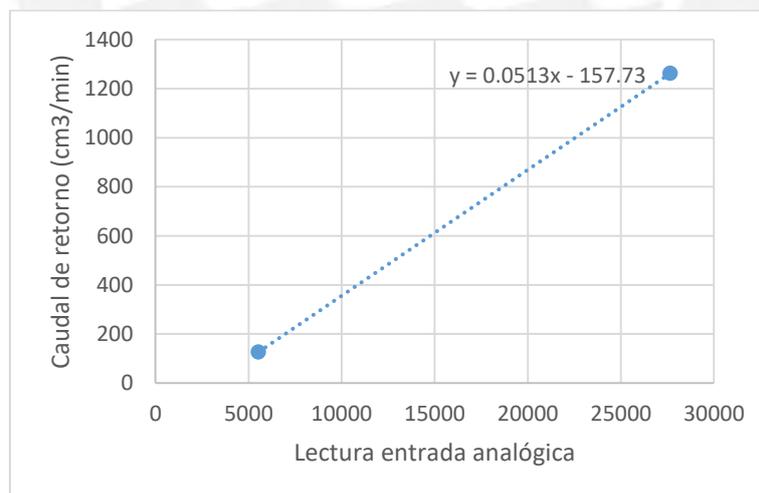


Fig 51. Escalamiento del transductor de caudal  
Fuente: Elaboración propia

Una vez definidas las variables, el escalamiento de las variables en el TIA Portal se dará de acuerdo al siguiente ejemplo aplicado para escalar la variable de presión según la Fig. 50:

Tabla 15. Variables escalamiento de la presión en el cilindro de pruebas

Símbolo	Dirección	Tipo
"Inicio de prueba"	%M0.1	Bool
"#Transmisor de presión 1"		Int
"#Presión temp 1"		Real
0.0113	0.0113	LReal
62.5	62.5	LReal
"#Presión en cilindro de pruebas"		Real

Fuente: Elaboración propia

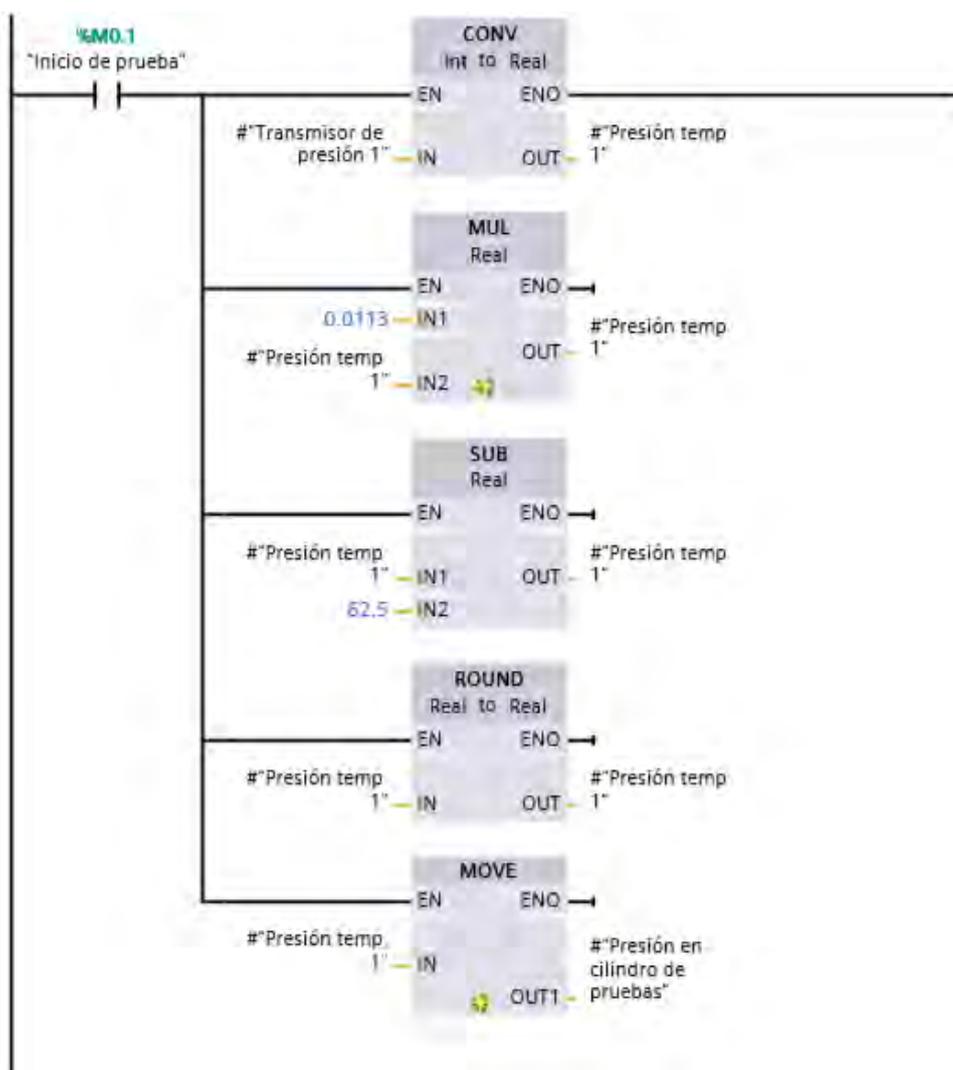


Fig 52. Escalamiento de la presión medida por transductor

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura previa, el valor leído primero es transformado de tipo de variable Integer a variable Real para tener un valor más preciso de lectura. Seguidamente, usando los bloques de operaciones matemáticas del software, se realiza el escalamiento correspondiente a la recta mostrada en la Fig.50. Finalmente este valor se le asigna la variable de salida de la función, la cual estará relacionada con el valor de presión en bar obtenida por el transductor.

Siguiendo el ejemplo mostrado, se creará un bloque de función: Escalamiento de entradas, este bloque se encargará de escalar todas las entradas obtenidas por los sensores. La representación de este bloque en el programa principal se dará de la siguiente manera:

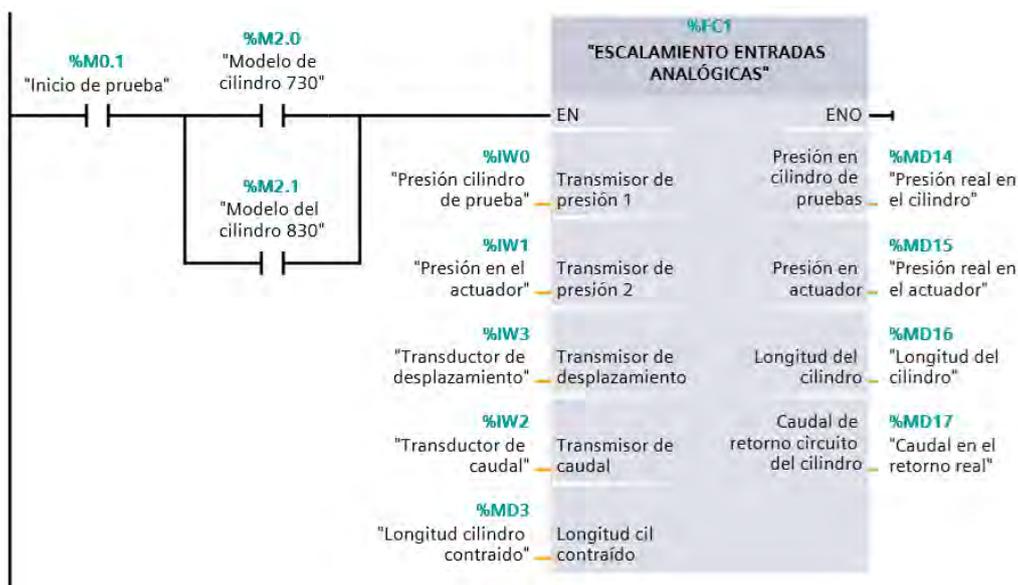


Fig 53. Bloque de función: Escalamiento  
Fuente: Elaboración propia

Tal como se mencionó, este bloque recibirá como entradas las señales analógicas conectadas al PLC y sus salidas serán las variables internas del sistema en su escala correspondiente (mm, bar, etc.).

Siguiendo con el desarrollo del programa, se deberá asignar los datos del cilindro de forma correspondiente al modelo. Las principales variables que se determinan dependiendo del modelo del cilindro se asignan a la memoria del PLC de acuerdo a la siguiente relación.

Tabla 16. Variables propias del cilindro

CARACTERÍSTICAS DEL CILINDRO	UNIDADES	DIRECCIÓN	730	830
MODELO CILINDRO 730	-	%M2.0	SELECCIONADO	-
MODELO CILINDRO 830	-	%M2.1	-	SELECCIONADO
LONGITUD CILINDRO CONTRAÍDO	mm	%MD3	1451.1	1850.2
LONGITUD CILINDRO EXTENDIDO	mm	%MD2	3644.9	4201.3
DATO PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN CILINDRO	bar	%MD4	172.37	172.4
DATO PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN ACTUADOR	bar	%MD5	250	250
DATO PRESIÓN DE PRUEBA PARA FUGAS EXT.	bar	%MD6	241.31	241.3
DATO CARGA DE CILINDRO	N	%MD7	1027882	1309689
DATO FUGA INTERNA	cm <sup>3</sup> /min	%MD8	164	182

Fuente: Elaboración propia

La asignación de las variables en el software se dará de acuerdo a la Fig. 54 para el cilindro de modelo 830. Se puede observar que previamente a cargar los valores, se debe activar la variable %M2.1, la cual corresponde a un modelo del cilindro. Esta variable es activada por el operario usando el interfaz HMI.

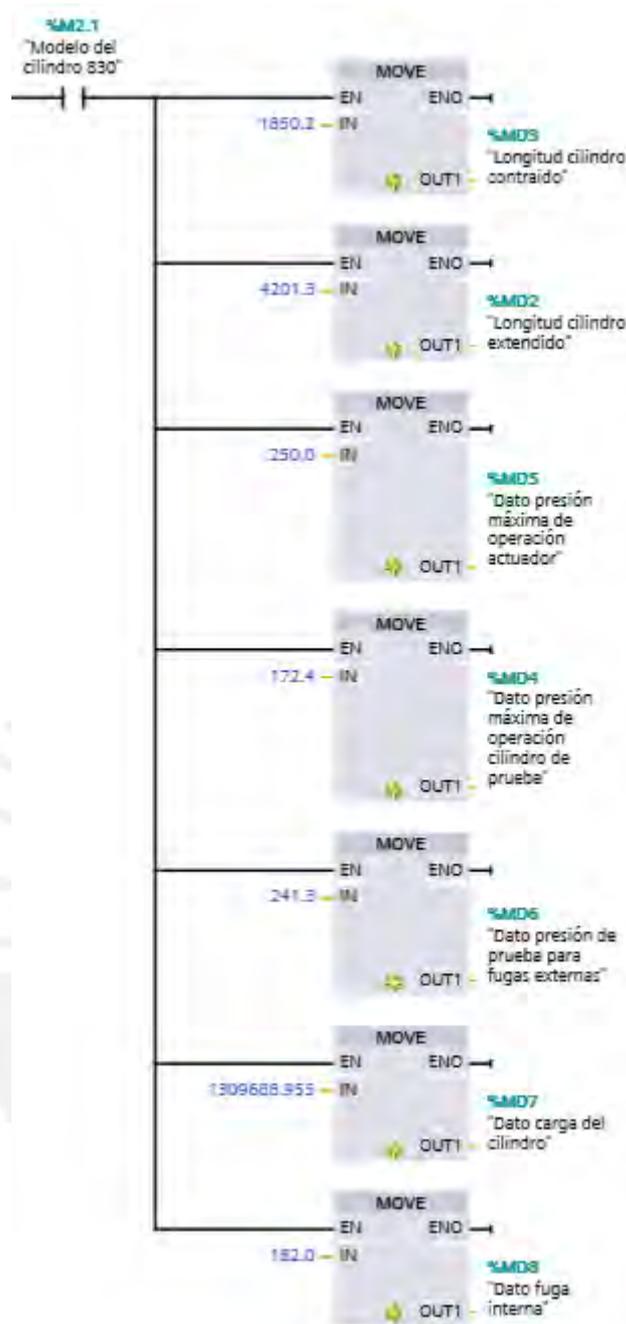


Fig 54. Asignación de variables  
Fuente: Elaboración propia

De forma consistente con lo mencionado en la filosofía de control el sistema es llevado a un estado de reposo para posicionar el cilindro en el banco. Por ello, el programa debe activar la bobina que extiende el actuador y luego fijar las válvulas limitadoras a una presión mínima. Como se puede observar en la Fig. 55, la bobina de salida del actuador estará activada solo mientras la longitud que mida el sensor de desplazamiento sea mayor a la medida del cilindro totalmente contraído, es decir, hasta que coincida con la medida adecuada para su montaje.

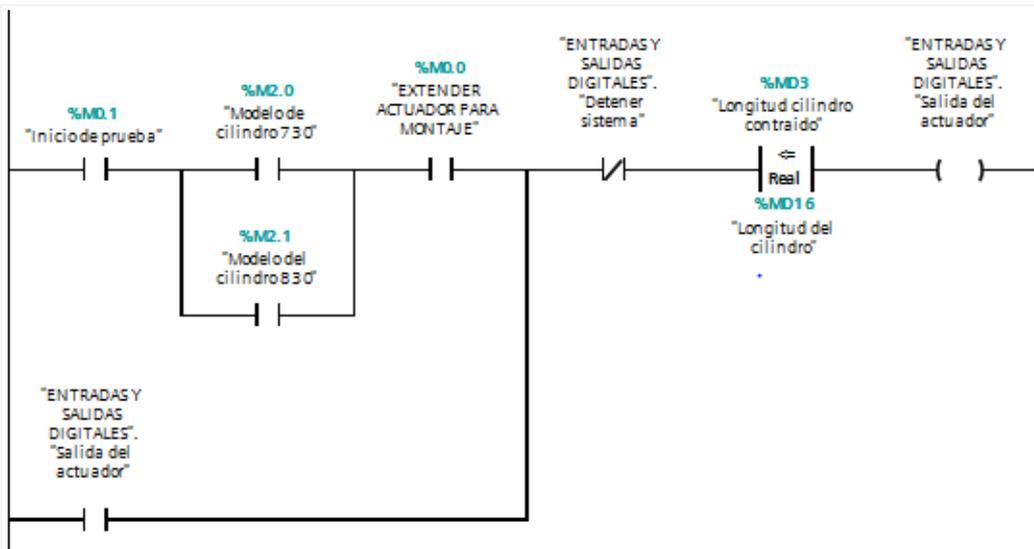


Fig 55. Segmento 1, bloque de función: Sistema en reposo  
Fuente: Elaboración propia

Siguiendo con la secuencia de pruebas, posicionado el cilindro en el banco, el usuario autoriza el comienzo del ciclo de desplazamiento del cilindro. Este proceso se da con carga sobre el cilindro que simule el peso de la tolva, por lo que se deberá limitar la presión en la válvula de conexión del actuador. Ya que una de las entradas para este bloque es la carga que soporta cada cilindro (en Newton), otro de los datos necesarios será el área del vástago del actuador, de manera que se puede estimar la presión en la válvula de conexión.

El ciclo de desplazamiento consta de la extensión y contracción del cilindro de pruebas y permite verificar que el avance del cilindro sea continuo. El ciclo se repite un número determinado de veces, que de acuerdo a recomendación del fabricante será 8, en el programa, el número de repeticiones es controlado con un contador de la siguiente manera:

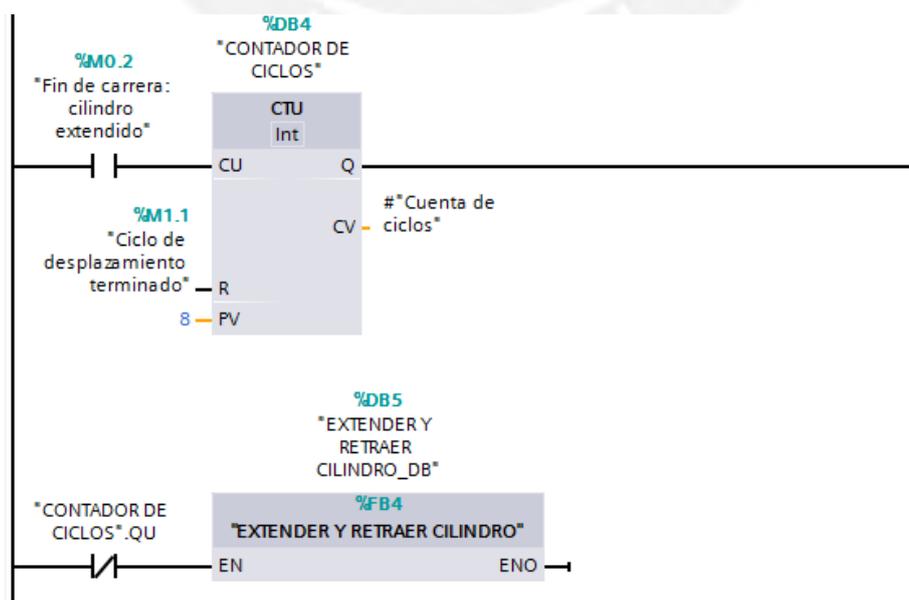


Fig 56. Bloque función: Ciclo de desplazamiento del cilindro  
Fuente: Elaboración propia

La prueba de fugas internas también se desarrolla dentro de un bloque de función, y se inicia una vez que se haya concluido el ciclo de desplazamiento del cilindro según se muestra a continuación.

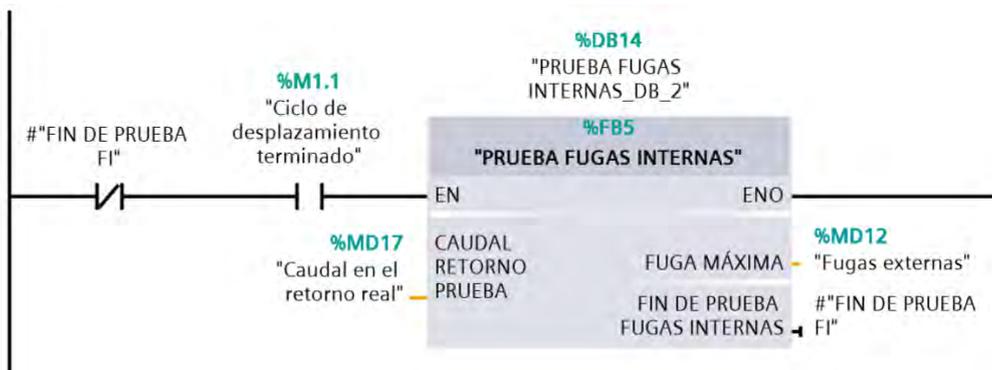


Fig 57. Bloque de Función: Prueba de fugas internas  
Fuente: Elaboración propia

El desarrollo de la prueba de fugas internas se basa en determinar el caudal máximo de fugas del cilindro, por ello, se usará un temporizador que permita tomar una medida del caudal en el retorno del cilindro de prueba cada 60 seg. El caudal obtenido en cada lectura se compara con el caudal anterior para obtener el máximo, este ciclo se repite de forma consecutiva hasta que transcurre todo el tiempo de pruebas de las fugas internas. Terminada esta fase, el valor de la fuga máxima se guarda en la variable correspondiente.

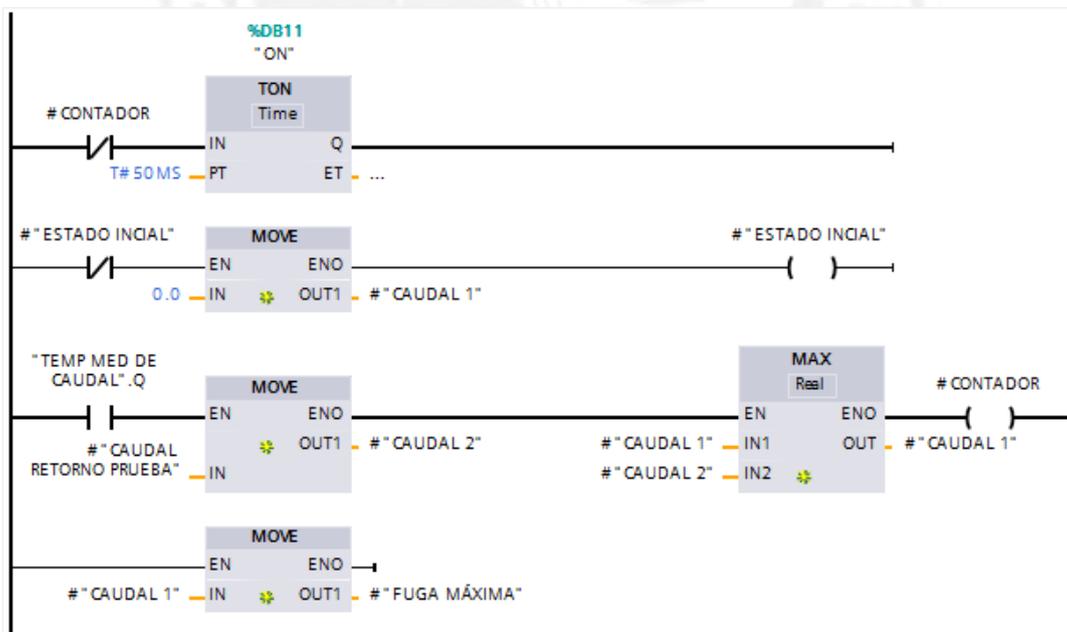


Fig 58. Prueba de fugas internas: Determinar caudal máximo  
Fuente: Elaboración propia

En el caso de las fugas externas, su desarrollo estará agrupado dentro de un bloque de función que se active cuando concluyan la prueba de fugas internas y terminará cuando la variable "Prueba terminada se active".



Fig 59. Bloque de función: prueba de fugas externas  
Fuente: Elaboración propia

El desarrollo de la prueba de fugas externas tiene como parámetro de entrada la presión máxima a la que se dará esta prueba. Seguidamente el circuito de prueba del cilindro será alimentado hasta alcanzar su presión máxima mientras que la presión en el sistema del actuador se mantiene liberada a fin de no aplicar fuerza alguna. Alcanzada la presión de prueba de fugas externas, los solenoides son desactivados, por lo que las válvulas distribuidoras vuelven a su posición de reposo (bloqueadas). La finalidad de la prueba es medir la caída de presión una vez que se haya dejado de alimentar el circuito del cilindro de prueba. Por ello, se usa un temporizador que estima el tiempo que dura la prueba para tomar una medida de la presión del circuito en ese instante. Tomada la medida de presión, se activa la variable “Prueba terminada”, lo que causa que el programa salga del bloque de prueba.

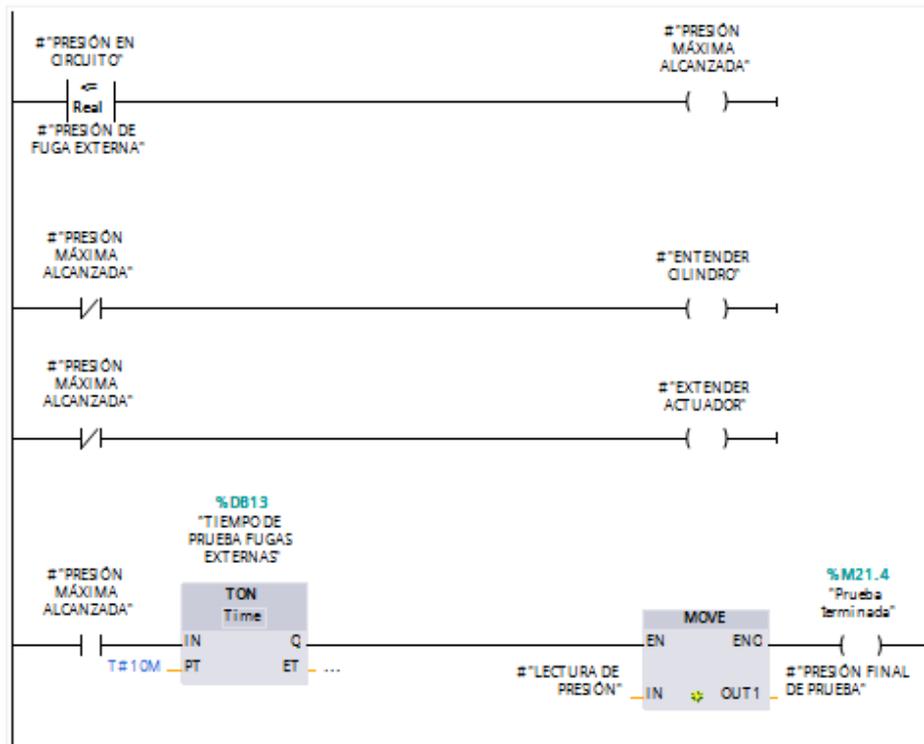


Fig 60. Determinar caída de presión  
Fuente: Elaboración propia

Una vez acabada la prueba de fugas externas, el programa principal pasa al estado de reposo, con lo que se da por concluida la prueba del cilindro telescópico y se procede a elaborar el reporte de prueba.

### Imagen de supervisión

Durante el desarrollo de la prueba, el operador podrá inspeccionar el comportamiento de las principales variables de prueba por medio del interfaz HMI seleccionada en el capítulo 3. Como se muestra en la Fig. 61, la imagen nos brinda información del cilindro que se está probando y en qué etapa de la prueba se encuentra. Así mismo, presenta las curvas características del cilindro de prueba (presión versus desplazamiento) y del actuador (fuerza vs tiempo). La imagen de supervisión también permite la intervención del usuario para iniciar o detener la prueba de forma voluntaria. Finalmente, la curva de presión del cilindro puede ser adjuntada en el reporte de prueba, de manera que se constate la operación del cilindro en toda su extensión.

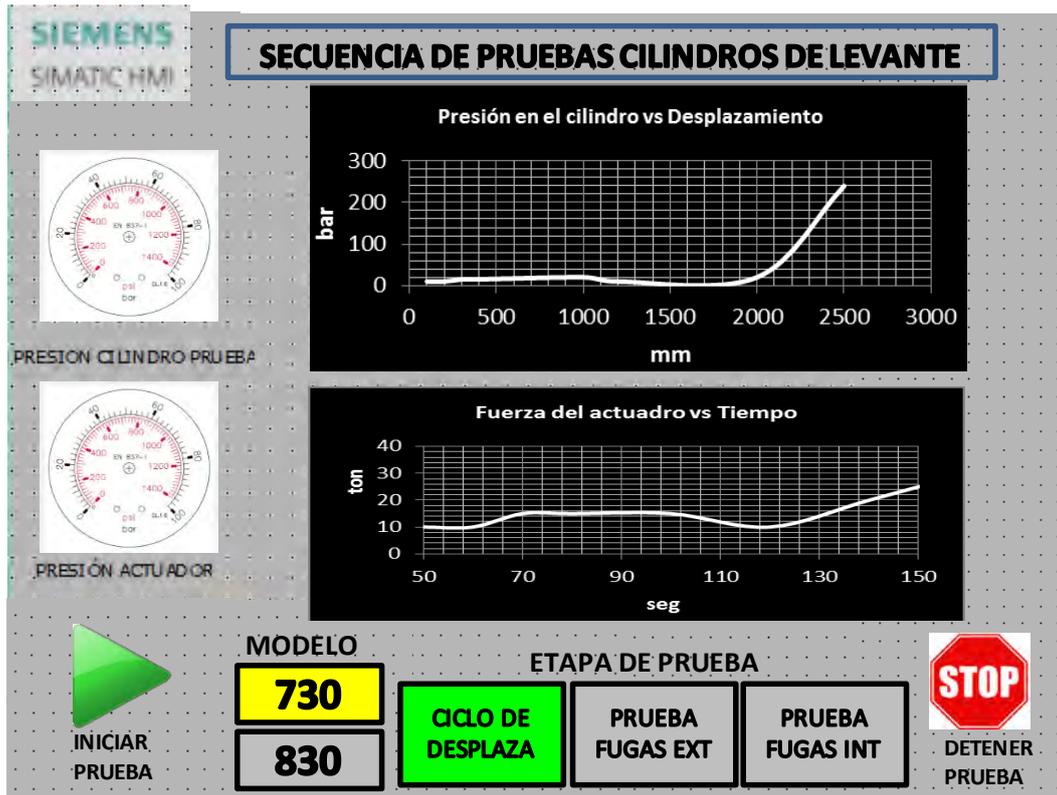


Fig 61. Imagen de supervisión  
Fuente: Elaboración propia

### Reporte de prueba

El reporte de prueba agrupa todos los resultados obtenidos a lo largo de la secuencia de operaciones. Como se observa en la Tabla 17, en la parte inicial del reporte se registran datos de las condiciones de la prueba y de las características del cilindro. Los valores que se encuentran sombreados serán asignados directamente por el controlador, pues se derivan de la elección del cilindro previo al inicio de la prueba. El primer resultado de prueba registrado es la presión a la que el cilindro rompe la inercia de la carga, denominada prueba de fricción. Seguidamente, la prueba de ciclo de desplazamiento verifica que el cilindro opere de forma regular sin que se alcance una condición que detenga el sistema (elevada presión). Los siguientes valores a registrar en el reporte son las fugas internas y externas del sistema que se desarrollan según lo especificado en la filosofía de control. Finalmente el reporte menciona si la prueba fue detenida durante su ejecución, condición que requiere la intervención del usuario, o si las pruebas fueron satisfactorias, obteniéndose una integridad del cilindro APROBADA. En la Tabla 17, se muestra un ejemplo de reporte con valores teóricos.

Tabla 17. Formato reporte de prueba

<b>PRUEBA DE INTEGRIDAD DE CILINDROS TELESCÓPICOS</b>	
FECHA (ddd/mmm/yyyy)	
MODELO	
DIAMETRO DEL HOUSING (mm)	
DIAMETRO DE VÁSTAGO(mm)	
CARRERA (mm)	
TEMPERATURA DEL FLUIDO (°C)	
<b>PRUEBA DE FRICCIÓN CON CARGA</b>	
CARGA DE PRUEBA (TON)	
PRESIÓN DE MOVIMIENTO (PSI)	
<b>PRUEBA DE DESPLAZAMIENTO CON CARGA</b>	
CARGA DE PRUEBA (TON)	
PRESIÓN DE PRUEBA (PSI)	
NUMERO DE CICLOS	
TIEMPO DE PRUEBA (min)	
<b>PRUEBA DE FUGAS INTERNAS</b>	
PRESIÓN DE PRUEBA(PSI)	
FUGAS INTERNAS REGISTRADAS	
CILINDRO EXTENDIDO(Litros/min)	
CILINDRO CONTRAÍDO(Litros/min)	
TIEMPO DE PRUEBA(min)	
<b>PRUEBA DE FUGAS EXTERNAS</b>	
PRESIÓN DE PRUEBA(PSI)	
CAÍDA DE PRESIÓN(PSI)	
TIEMPO DE PRUEBA(min)	
PRUEBA DETENIDA	
<b>INTEGRIDAD DEL CILINDRO</b>	

Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO 5

### PLANOS Y COSTOS

En el presente capítulo se presentan y explican los diagramas hidráulicos y eléctricos en base al concepto de solución y los componentes seleccionados. Asimismo, se detalla el presupuesto final de acuerdo al alcance definido y los gastos asociados a la implementación del proyecto. El presupuesto del proyecto ha sido dividido en 3 categorías: componentes de adquisición local, componentes de importación y servicios asociados a la implementación. Los costos de mano de obra tienen como referencia el cobro por servicios que tiene la empresa fabricante de los cilindros por servicios de implementación.

#### 5.1. Diagrama hidráulico y planos eléctricos

##### Diagrama hidráulico

El circuito hidráulico del sistema se desarrolla en base al concepto óptimo de solución y la selección final de componentes. Como se puede observar Fig. 62., los componentes principales del circuito son el cilindro de pruebas (1) y en cilindro de doble efecto (2). Cada cilindro es controlado por una válvula distribuidora (3 y 4), las cuales funcionan de forma simultánea pero contraria respecto a la salida y entrada de los vástagos. Seguidamente, los actuadores que condicionan el flujo en el circuito son las válvulas de alivio proporcional conectadas a la salida de la bomba. Estas válvulas serán controladas según lo descrito en la secuencia de operación, mientras que en el estado de reposo se procurará el ahorro de energía al limitar su presión a un mínimo valor. Conectado en uno de los extremos del actuador se encuentra la válvula de conexión proporcional que simula la carga (7), en paralelo a ella se encuentra una válvula check que permitirá el paso del flujo en el otro sentido (12). Adicionalmente se considera una válvula distribuidora tipo 2/2 activada por solenoide (13), esta válvula permite la conexión y desconexión del sensor de caudal, el estado normal de esta válvula es el de desconexión del sensor de flujo, ya que este solo es usado en la fase de prueba de fugas internas y su rango de medición (2-100 Litros/hora) es mucho menor al caudal nominal de operación del circuito.

En relación a los sensores, se muestra la conexión del sensor de desplazamiento (11), que esta fijo al extremo estático del cilindro y su otro extremo del hilo está unido al extremo móvil del vástago. Se presentan dos sensores de presión, uno está unido a la entrada del cilindro de prueba (9), esto permitirá medir la presión en el circuito cuando el cilindro avanza y medir la variación de presión del cilindro en la prueba de fugas externas. El otro transductor de presión se encuentra en el circuito del actuador de doble efecto y va conectado luego de la salida de la bomba, este permitirá medir la presión de este sistema durante todo el ciclo de prueba. Como ya se mencionó el sensor de caudal se conecta a la salida del cilindro de prueba, y su rango solo está limitado solo para la prueba de fugas internas, por lo que se conecta en paralelo con un válvula 2/2.

Una restricción que no se puede observar en este esquema es la conexión física entre los vástagos del cilindro de pruebas y los del cilindro de doble efecto. Esta conexión debe ser asegurada durante el montaje del cilindro de pruebas, de forma que mientras el cilindro de pruebas se esté extendiendo, el cilindro doble efecto se esté contrayendo, y viceversa.

*Tabla 18. Lista esquema hidráulico*

N°	Descripción
1	Cilindro Telescópico
2	Cilindro hidráulico doble efecto
3	Válvula distribuidora 4/3 ABPT bloqueado
4	Válvula distribuidora 4/3 ABPT comunicado
5	Válvula de alivio proporcional
6	Válvula de alivio proporcional
7	Válvula de conexión proporcional
8	Transductor de flujo
9	Transductor de presión
10	Transductor de presión
11	Transductor de desplazamiento
12	Válvula check
13	Válvula distribuidora

*Fuente: Elaboración propia*

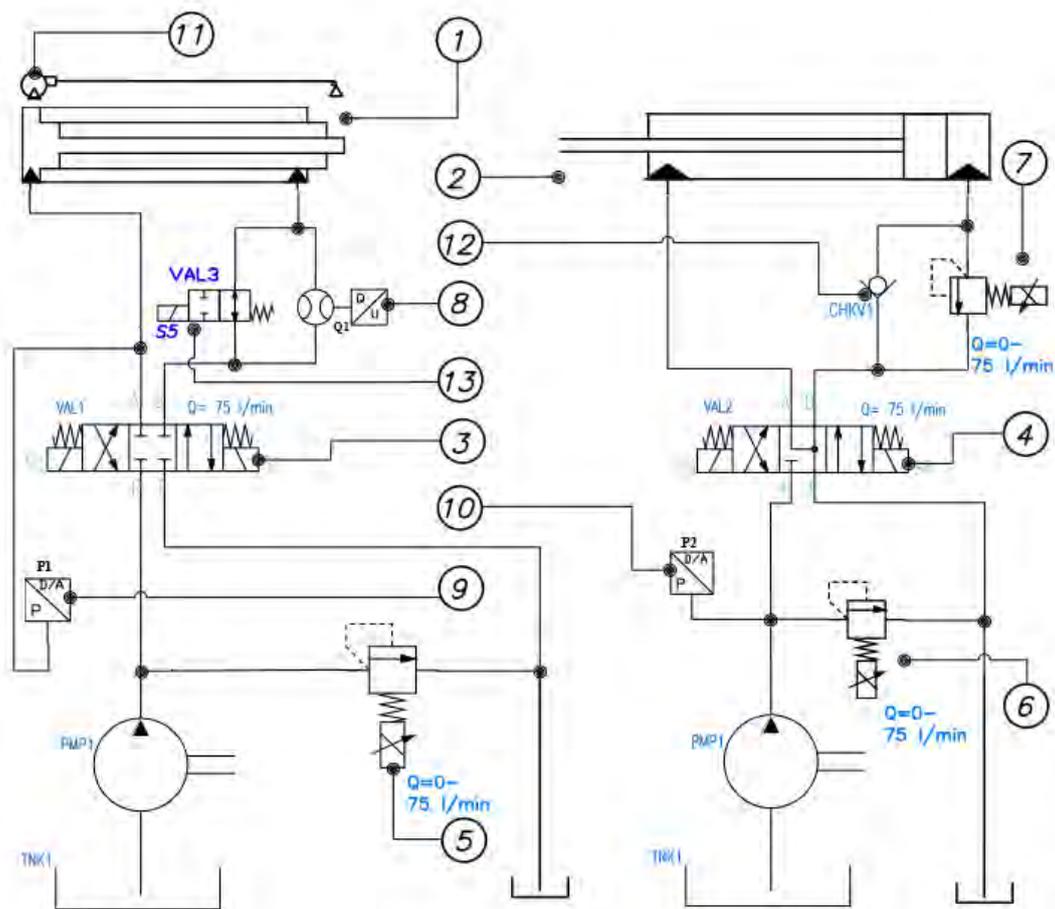


Fig 62. Circuito hidráulico  
Fuente: Elaboración propia

Nota: en los anexos de este documento se presenta el plano correspondiente a este circuito.

### Circuitos Eléctricos

Los esquemas eléctricos se dividieron según el tipo de señal que el PLC envía o recibe. De esta forma, se presentan las conexiones del CPU a las entradas y salidas digitales, y de los módulos analógicos a los transductores y actuadores correspondientes. Ya que el PLC solo maneja señales de control y de baja potencia, la alimentación de los demás componentes electrónicos, incluyendo el PLC y los módulos, será suministrada por la fuente de 24 Voltios mostrada en la selección de componentes (RS-150-24).

El primer esquema corresponde a las entradas y salidas digitales. La única entrada digital que recibe el CPU es la de switch de parada de emergencia que es ingresada por el usuario en caso produzca un condición insegura durante la prueba. Las salidas digitales presentes en la Fig. 63 son las destinadas a activar los solenoides de las válvulas distribuidoras. Ya que la activación de los solenoides requiere mayor potencia de la que manejan los puertos de entrada y salida del PLC, su activación se dará de manera indirecta por medio de contactores cuya señal de control proviene del PLC. El relé previamente seleccionado tiene una tecnología del tipo estado

sólido, esto garantiza una mayor velocidad de respuesta y un mayor tiempo de vida útil respecto a un relé mecánico.

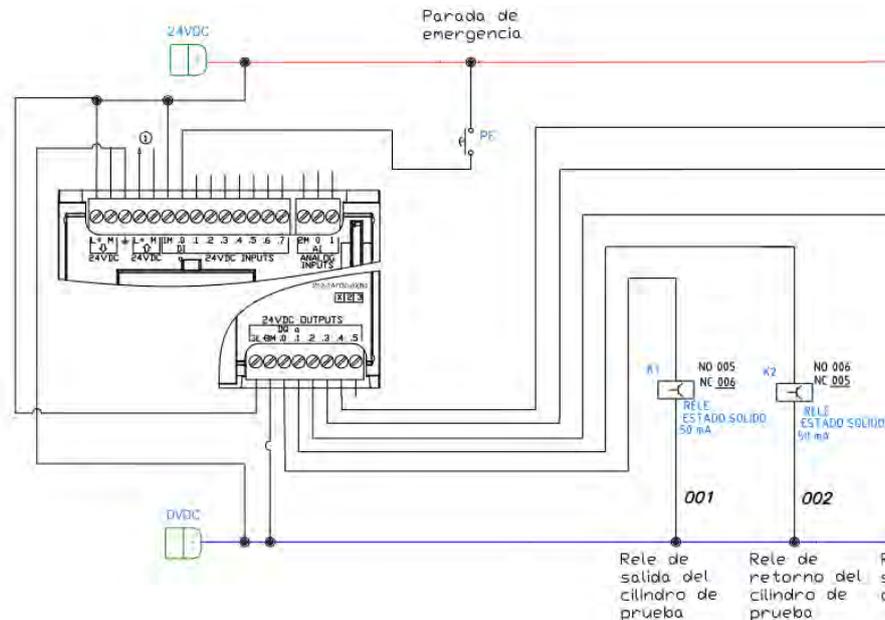


Fig 63. Puertos Digitales  
Fuente: Elaboración propia

El siguiente esquema mostrado corresponde a la conexión de la parte de potencia de los relés y los solenoides. Los contactores normalmente abiertos o cerrados son distribuidos en parejas de acuerdo a la señal de control a la que hagan referencia. Por ejemplo en el caso de la bobina de salida del cilindro de prueba, esta es activada cuándo el PLC activa la parte de control del relé correspondiente (contacto normalmente abierto), pero se desactiva al alimentar el relé de ingreso del vástago (contacto normalmente cerrado). En el caso de la válvula de conexión del transductor de caudal, solo cuenta con un solenoide, por lo que no tendrá dos contactores conectados en serie. A la vez, en la figura Fig. 64 se evidencia la diferencia entre la potencia de control (0.1 Watts aprox.) y la potencia de operación de los solenoides (30 Watts).

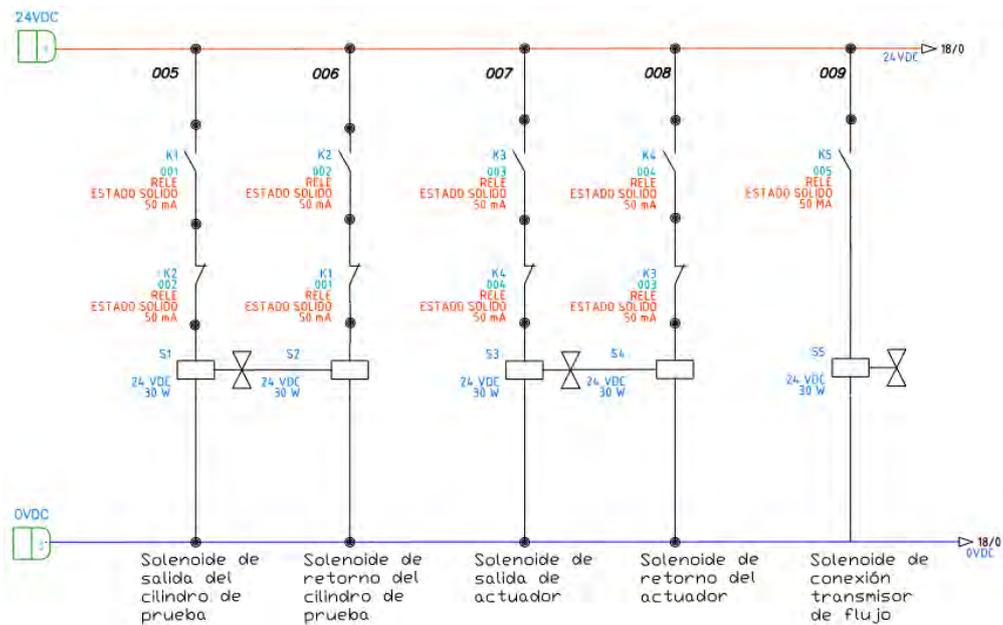


Fig 64. Circuito de Contactores y solenoides  
Fuente: Elaboración propia

El circuito esquemático mostrado en la Fig. 65 representa parte de las conexiones entre el módulo de entradas analógicas y los transductores del sistema. Las señales enviadas por los trasmisores varían entre los 4-20mA, al ser recibidas el CPU las escala a una variable digital que representa un valor de temperatura, posición o caudal. Los transductores presentan una conexión correspondiente a su alimentación [0-24 VDC] y otra a su señal de control, por lo que al compartir los mismos puntos de tierra, el módulo de entradas analógicas recibirá la señal de manera acertada. Seguidamente el módulo envía este valor al CPU por medio entre una conexión interna tipo bus entre el módulo principal (CPU) y los módulos auxiliares.

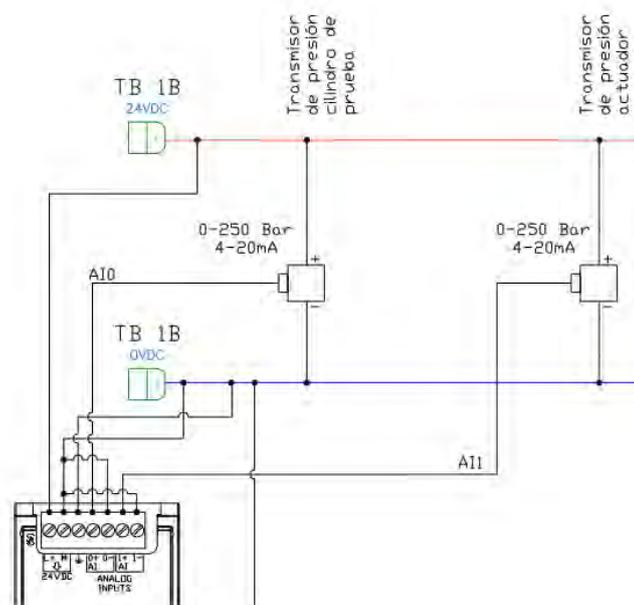


Fig 65. Entradas Analógicas  
Fuente: Elaboración propia

Tal cómo se mencionó en la selección de componentes, el sensor de desplazamiento trabaja como un potenciómetro lineal. Por esta razón, se requiere de un circuito adicional que convierta el valor de la resistencia  $R_{pot}$  [0-10K Ohms] a una señal de corriente (4-20mA). En la Fig. 66 se muestra el circuito propuesto en el cual la conexión con el puerto de entradas analógicas del PLC es representada por los terminales AI+ y AI-,  $R_{in}$  es una resistencia interna del módulo. El circuito usa un amplificador operacional para escalar la señal proveniente del divisor de voltaje ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_{pot}$ ) a una señal de corriente en el rango establecido. Debido a que el amplificador otorga una impedancia muy alta entre las entradas y la salida del circuito, cada parte trabajará con su propio valor de tierra, en el caso del divisor de voltaje (entradas) será la tierra de la fuente seleccionada, mientras que la señal de corriente (salida) usará la tierra interna de los puertos del módulo de señales analógicas.

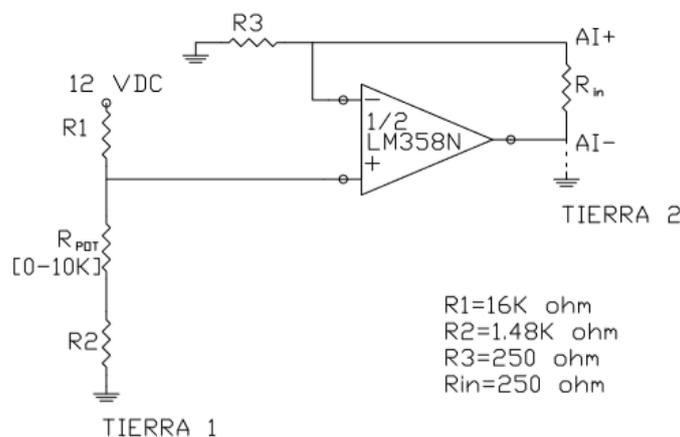


Fig 66. Circuito escalamiento del potenciómetro  
Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Fig. 67 se muestran las conexiones entre el módulo de salidas analógicas. Las salidas analógicas presentes en el sistema corresponden a la activación de las válvulas de alivio y de desconexión, en las que la presión establecida puede variar en un rango de [0 a 250 bar]. La presión es fijada por la señal de control enviada por el CPU. Como se muestra en el esquema, la señal de salida del CPU varía de 0 a 20 mA, esta señal llega hasta el actuador de presión que escala su valor a un punto fijo de presión. En la parte inicial de las válvulas de presión seleccionadas, la señal de control es comparada con una señal que eléctrica que varía en el mismo rango e indica la presión actual del actuador. La comparación es lograda por medio de un amplificador operacional, que amplifica la señal para ser enviada al solenoide que actúa sobre el elemento que limita la presión. Además en el esquema se puede observar que la parte de control y de mayor potencia en el circuito está dividida por el OPAMP, cuya alta impedancia aísla de forma eficiente ambos circuitos.

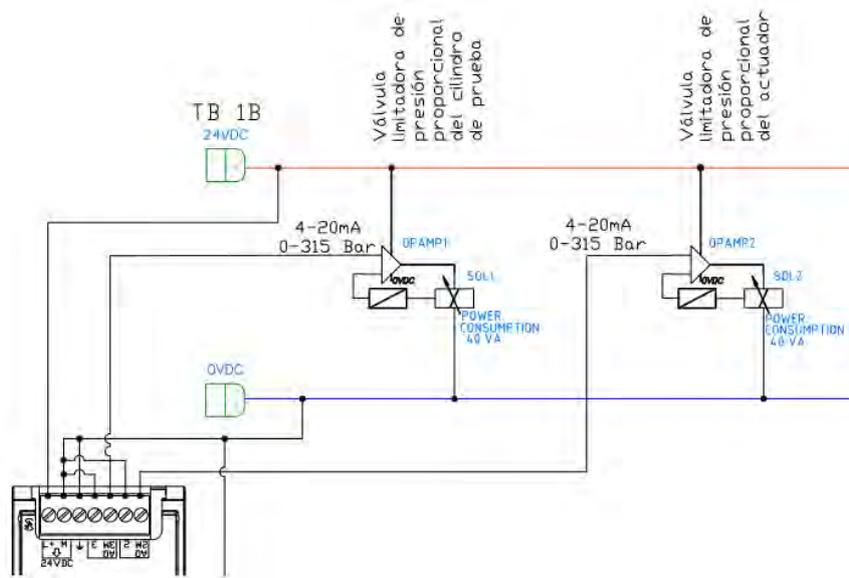
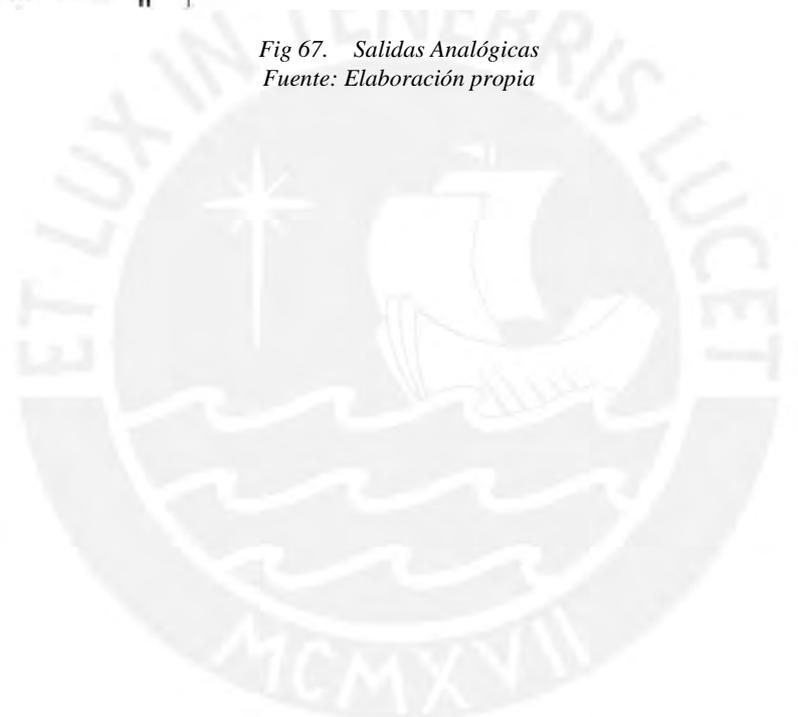


Fig 67. Salidas Analógicas  
Fuente: Elaboración propia



## 5.2. Presupuesto del proyecto

El presupuesto del proyecto incluirá la estimación del costo de los componentes electrónicos y controladores usados en el sistema. Ya que el proyecto está centrado en la automatización de un proceso, no se desarrollará el costeo de los componentes y partes que pertenecen a la estructura mecánica. Es decir, el proyecto de automatización parte de la previa existencia de un banco de prueba de cilindros telescópicos que se desea automatizar, y en base a sus especificaciones se realiza la selección de sus componentes.

El presupuesto se dividirá en tres grupos: componentes de importación, componentes del mercado local y servicios. La importación se dará en su mayoría para los componentes tecnológicos, ya que al ser escasos en el mercado local su precio se encuentran sobrevaluado. Las compras locales serán para los componentes de fácil adquisición, mantenimiento o reemplazo, de manera que no dificulte el soporte de la máquina. Los servicios estarán orientados a la instalación y programación del PLC y se estimará teniendo como referencia el costo por día de servicio de un técnico y la supervisión de un ingeniero. Entre los servicios también se incluirá el costo por capacitación del sistema al usuario.

El presupuesto de importación se basa en cotizaciones obtenidas en las páginas de los proveedores y de centros de venta de componentes electrónicos extranjeros, por lo que se deberá considerar el aumento por costo de importación y el impuesto a la venta adicional por aduanas.

A continuación se presenta la estimación del presupuesto realizada en los grupos mencionados:

### Componentes del mercado local

Tabla 19. Presupuesto componentes locales

ID	Elemento	ITEM	Cantidad	Unidad	Euros	Dolares	Soles	Precio Parcial(\$)	Subtotal (\$)
1	Cable Profinet		6	m			10	3.0	17.8
2	Cableado eléctrico		10	m			5	1.5	14.8
3	Interruptor diferencial	SICA	1	UND		25		25.0	25.0
<b>Subtotal de costo</b>									<b>57.5</b>

Fuente: Elaboración propia

## Componentes de Importación

Tabla 20. Presupuesto de componentes por importación

ID	Elemento	ITEM	Cantidad	Unidad	Euros	Dolares	Precio Parcial(\$)	Subtotal (\$)
PROVEEDOR: SIEMENS								
1	Controlador PLC	SIMATIC S7-1200 CPU 1212C	1	UND	290		309.1	309.1
2	Modulo de entradas analógicas	SM 1231	1	UND	235		250.5	250.5
3	Modulo de salidas analógicas	SM 1232	1	UND	390		415.7	415.7
4	Visualizador	KTP 600 Basic PN	1	UND	769		819.8	819.8
PROVEEDOR: SHARP ELECTRONIC								
5	Relé de estado sólido	S208T02	8	UND		3	3.0	24.0
PROVEEDOR: REXROTH								
6	Transductor de presión	HM 20-1X/100-C-K35	2	UND	197.04	-	210.0	420.1
7	Válvulas de alivio proporcional	DBEBE6X	2	UND		1449	1449.0	2898.0
8	Válvula distribuidora	RE 23178- WE	2	UND			1200.0	2400.0
9	Válvula distribuidora	DS162C	1	UND		141	141.0	141.0
PROVEEDOR: FLOMEC								
10	Transductor de Caudal	OM006 1/4"	1	UND	720	-	767.5	767.5
PROVEEDOR: MIRAN TECHNOLOGY								
11	Sensor de desplazamiento	MPS-L-P	1	UND	580	-	618.3	618.3
PROVEEDOR: MEAN-WELL								
12	Fuente de Alimentación	HRP-200-24	1	UND		70	70.0	70.0
PROVEEDOR: AMICO								
13	Parada de emergencia	ZB2-ES542	1	UND		5	5.0	5.0
<b>Subtotal de costo preliminar</b>								9139.0
<b>Factor por importación</b>								16450.3
<b>IGV</b>								2961.0
<b>Sub Total</b>								\$ 19,411.31

Fuente: Elaboración propia

## Servicios

Tabla 21. Presupuesto por servicios

COSTO DIARIO (\$)

INGENIERO	280	INGENIERO SUPERVISOR	210
TÉCNICO	140	TÉCNICO SUPERVISOR	105

DESCRIPCIÓN	TÉCNICOS		INGENIEROS		VENTA TOTAL
	QTY	DÍAS	QTY	DÍAS	
MONTAJE DE PLC Y MÓDULOS IO	1	0.25	0	0	35
CONEXIÓN ELÉCTRICA DE MÓDULOS IO	1	0.25	0	0	35
LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	0	0	1	0.25	70
PROGRAMACIÓN DEL PLC	0	0	1	0.25	70
CONFIGURACIÓN CON HMI	0	0	1	1	280
COMUNICACIÓN ENTRE MODULOS	0	0	1	1	280
DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	0	0	1	1	280
PRUEBAS OF-LINE	0	0	1	0.25	70
PRUEBAS ON-LINE SCADA	0	0	1	1	280
CAPACITACIÓN AL USUARIO	0	0	1	0.5	140

SUB TOTAL SERVICIOS US \$ 1540

Fuente: Elaboración propia

Considerando los costos estimados, se obtiene un presupuesto total del proyecto aproximado de \$ 21,000.

Tabla 22. Presupuesto Total del proyecto

PRESUPUESTO	MONTO
COSTO COMPONENTES IMPORTADOS	\$ 19,411.31
COSTO COMOPONENTES LOCALES	\$ 57.54
SERVICIOS	\$ 1,540.00

TOTAL \$ 21,008.85

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- Se logró diseñar un sistema que cumple con el objetivo principal propuesto de desarrollar la automatización para cilindros telescópicos. Según el diseño elaborado, la única información requerida es el modelo del cilindro que se desea probar. Luego de ello, el único papel del operador durante la prueba es de supervisión. El desarrollo de la prueba brinda información de fugas internas, fugas externas y la carga a la que se somete el cilindro durante determinado número de ciclos. Esta información se compara con valores estándares que garanticen la calidad del cilindro para que finalmente se puede asegurar la adecuada reparación del mismo. El desarrollo de este proyecto requirió el análisis y formulación del proceso de prueba de los cilindros de levante. A partir de ello, se seleccionaron los sensores que monitoreen las variables del sistema y actuadores que las modifiquen. A la vez, la conexión de estos a un controlador permite que el sistema opere de acuerdo a una secuencia definida.
- Se desarrolló un sistema flexible, pues permite realizar la prueba para una variedad de cilindros que se encuentre dentro de las limitaciones de presión y carrera del sistema. Para efectos de la automatización, el sistema planteado considera como opciones para la prueba los modelos de cilindros correspondientes a los camiones 830E y 730E, sin embargo esta gama puede ser ampliada siempre que el diseño del banco lo permita. El sistema también es considerado flexible en cuanto a la secuencia de pruebas se refiere. Ya que es el controlador quién define como se va a ejecutar la prueba, el desarrollo de esta puede ser modificado haciendo variaciones solamente a nivel de la programación. Esto se debe a que el sistema cuenta con los sensores y actuadores adecuados para que la prueba se desarrolle de acuerdo a como se defina la filosofía de control, lo cual deja abierta la posibilidad a que se hagan modificaciones en la secuencia de pruebas planteada o se realicen otro tipo de pruebas en los cilindros.
- En el estado del arte se mencionó que el procedimiento actual de pruebas en cilindros telescópicos de la empresa no evalúa indicadores cuantificables que verifiquen la calidad de la prueba, por lo que para efectos de la automatización fue necesario variar el proceso de prueba de manera que los parámetros que garanticen la integridad del componente puedan ser medidos.
- El sistema cumple con el objetivos específicos de desarrollar una nueva secuencia de pruebas para los cilindro telescópicos. Esta nueva secuencia considera como variables la presión, el desplazamiento del cilindro y el tiempo para controlar la secuencia de operación. Así mismo, los parámetros de prueba que indican las fugas internas y externas están expresados en función del caudal de salida y de la diferencia de presión respectivamente,

por lo que pueden ser obtenidos por los sensores y procesados por el controlador para que se verifique la condición del componente en la prueba.

- A pesar de que se expresa en las limitaciones de esta tesis que no desarrollará el diseño estructural e hidráulico del banco de pruebas, es necesario tener como referencia el diseño de un banco específico, ya que la selección de componentes necesarios para la automatización estarán sujetos al diseño y restricciones del sistemas que se desea automatizar. Para este caso se consideró el modelo presente en el concepto de solución escogido y algunas variables de operación del banco de pruebas de las instalaciones de la empresa proveedora en Chile.
- La principal ventaja de automatizar el proceso de pruebas en cilindros telescópicos es lograr el control de la secuencia a partir de un controlador. Esto permite establecer de forma exacta el desarrollo de las pruebas, mientras se mantiene a posibilidad de hacer cambios necesarios en la misma. A diferencia de un proceso manual, la automatización garantiza una mejor uniformidad en las pruebas. Esto permite un mejor registro de los resultados de la prueba y un mejor soporte al cliente, logrando un mejor control de calidad y ofreciendo al cliente un producto superior.



## OBSERVACIONES

- Se tiene que mencionar que los procedimientos detallados para las pruebas de fugas externas e internas no han sido puestos en marcha en la empresa, por lo que debería hacerse una serie de pruebas para establecer una correspondencia entre los estándares anteriores y los nuevos. Por ejemplo, en el caso de las fugas externas, el procedimiento de la empresa se basa en una inspección visual del cilindro, mientras que la nueva secuencia planteada estima las fugas externas a partir de una caída de presión en los en el circuito.
- Acerca del análisis contextual y del estado del arte, se pudo observar que la automatización en la prueba de cilindros se ha desarrollado notoriamente en los países industrializados, dando origen a sistemas cada vez más que completos que faciliten no solo el proceso de pruebas, sino que contribuyan con el proceso de armado y desarmado de los cilindros. Esto mejora considerablemente el tiempo de reparación en el componente, obteniendo una reducción en el costo del mantenimiento.
- Acerca del diseño conceptual y los conceptos propuestos, si bien se mencionó que la automatización se basa en el modelo de un banco manual presente en las instalaciones de Komatsu Chile, se presentaron propuestas que puedan cumplir la secuencia de pruebas planteada de distintas maneras. Esto permitió tener un panorama general de cómo automatizar la prueba en los cilindros. Posteriormente, el desarrollo de la automatización se realizó para el concepto preliminar seleccionado.
- El circuito de pruebas propuesto se basa en la norma SAE 1334: prueba de integridad para cilindros hidráulicos, No obstante se realizaron las modificaciones necesarias para que las pruebas se puedan automatizar por medio de un controlador. A la vez, la información generada para el reporte toma como referencia los estándares de prueba Komatsu y el modelo de reporte SAE J1334 según figura en los anexos.

## RECOMENDACIONES

- Es aconsejable implementar un sistema que genere de forma automática un reporte de la prueba, ya que para el usuario le puede resultar improductivo tener que extraer los valores del controlador para colocarlos en un informe.
- Si bien lo planteado se limita a la automatización, se aconseja que el diseño del banco cuente con una cubierta de protección para el usuario, ya que con las presiones trabajadas, la fuga de aceite podría generar lesiones en el operador.
- Acerca de los datos obtenidos de la prueba se recomienda desarrollar un sistema que cargue los resultados obtenidos en una base de datos general, de manera que se podrían establecer parámetros estándares internos a partir del universo de cilindros probados.
- A partir del sistema planteado, el actuador también podría ser útil para el proceso de desarme y armado del cilindro en lo que respecta al retiro e introducción del vástago, por lo que sería conveniente que bajo el análisis respectivo, se desarrolle la programación del controlador para que cumpla estas funciones.
- Se observa que la selección de componentes tuvo como delimitaciones la prueba de los modelos de cilindros 830 y 730. Por ello, si se desea ampliar la gama de cilindros a probar, se debe verificar que los componentes escogidos soporten el nuevo rango de variables (presión, desplazamiento, etc.) que tendrá la prueba.
- Los valores de presión de prueba considerados corresponden a los valores máximos al que se somete el sistema por medio del circuito hidráulico. Sin embargo, durante la prueba de desplazamiento del cilindro, este se somete a una carga estimada por la máxima capacidad de la tolva. Este hecho no corresponde al ciclo de operación normal del sistema (ciclo de acarreo) en el que los cilindros se someten a distintos niveles de carga producto del cambio en su inclinación. Por ello se recomienda usar el sistema propuesto para la modelación de un ciclo de acarreo completo del cilindro, de manera que la prueba tenga una mayor correspondencia con su operación.

## BIBLIOGRAFÍA

- AF-Automazione. (2005). AF- Automazione, Industrial automation system. Cremona, Italia.
- AIDCO CORP. (2014). *Model 900 transmission and hydraulic component test center*. Wisconsin: AIDO TEST SYSTEM.
- Barriga Gamarra, B. (1985). *Métodos de diseño en Ingeniería Mecánica*. Lima: PUCP. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- Barriga Gamarra, B. (1986). *Elementos básicos de oleohidráulica*. Lima: PUCP. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- Bosch Group. (24 de 10 de 2014). *Proportional & Servo valves*. Obtenido de <http://www.boschrexroth.com/en/us/products/product-groups/industrial-hydraulics/proportional-and-servo-valves/index>
- CTTC C1, Hydraulic Systems. (13 de 10 de 2003). *SAE Internacional*. Obtenido de [http://standards.sae.org/j1334\\_200310/](http://standards.sae.org/j1334_200310/)
- Diario Gestión. (10 de Noviembre de 2016). *Gestión*. Obtenido de <http://gestion.pe/economia/ccl-pbi-peruano-crecera-38-2016-y-42-2017-2174394>
- Dürr, A. (1975). *Hidráulica aplicada a las máquinas/herramienta*. Barcelona: Blume.
- Garrido, B. (2012). *ARMADO CILINDRO LEVANTE 960E, 960E-1K, 930E, 830E, 730E, 685E y 630E*. Santiago de Chile.
- Garrido, B. (2012). *DESARME CILINDRO DE LEVANTE 960E, 960E-1K, 930E, 830E, 730E, 685E y 630E*. Santiago de Chile.
- George Acker, J. (1995). *Milwaukee, Wisconsin Patente n° 952088*.
- Great Plain Industries. (2014). *Flowmeter Catalog*. Ciudad de México.
- Hitchcox, A. (6 de Julio de 2006). *Hydraulics & Pneumatics*. Obtenido de <http://hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/Cylinders/Article/False/21653/TechZone-Cylinders>
- Hydac International. (2013). *Electronic Flow Rate Transmitter for Oils / Viscous Fluids*. Sarrebruck.
- INEI. (2016). *Compendio Estadístico Perú 2016*. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- International Standar ISO. (2001). *Hydraulic fluid power cylinders acceptance test*. Geneva, Switzerland: ISO copyright office.
- Johnson, J. L. (8 de Agosto de 2012). *Hydraulic and Pneumatics*. Obtenido de <http://hydraulicspneumatics.com/hydraulic-valves/what-difference-between-servo-valve-and-proportional-valve>

- Komatsu American Corp. (2001). *Shop Manual 830E Dump Truck*. California.
- Komatsu Anglo American, Chile. (2007). *Curso mantención de camiones Komatsu 830-930*. Chile.
- MANNESMANN REXROTH. (1996). *Hydraulic Cylinder*. Lohr am Main .
- Mean Well. (2011). *RS-150 series*. Taipei.
- Michie, B. (23 de Junio de 2016). *Cross Instrumentation*. Obtenido de <http://crossinstrumentation.com/blog/oval-gear-meters-all-about-hall-effect-sensors>
- Miran Technology. (2014). *Linear Wire Motion Potentiometer (brand MIRAN, LinecSKI, MAX)*. Shenzhen.
- National Instruments. (21 de mayo de 2013). *National Instruments*. Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/13654/es/#h34>
- Parker Hannifin Corporation . (2004). *Catalog HY15-3502/US*. Ohio.
- Rexroth Bosch Group. (2005). *Proportional pressure relief valve, pilot operated, with on-board electronics (OBE) and position feedback*. Lohr am Main.
- Rexroth Bosch Group. (2009). *Proportional pressure reducing valve*. Zum Eisengießer.
- Rexroth- Bosch group. (2012). *Pressure transducer for hydraulic applications*. Lohr am Main, Germany: Bosch Rexroth AG. Hydraulics.
- Rexroth Bosch Group. (2013). *Directional spool valves, direct operated, with solenoid actuation*. Zum Eisengießer.
- SAE International. (2015). *Hydraulic Cylinder Integrity Test*. Pennsylvania: SAE Standards.
- Schneider Electric. (2016). *Product data sheet: XB7ES542P*. Schneider.
- Shrap Technology. (2004). *S108T02 Series*. Osaka.
- SIEMENS SYSTEMATIC. (2009). *Controlador programable S7-1200, Manual de sistema*. NÜRNBERG, ALEMANIA .
- Wright, H. (Mayo de 2010). *Introduction to Programmable Logic Controllers (PLCs) and the Operational Function of Main System Modules*.