

**PROGRAMA DE DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD) PARA
DESARROLLAR Y SIMULAR CIRCUITOS HIDRAULICOS BÁSICOS CON
LÓGICA BOOLEANA FASE 1**

**ANDRÉS FELIPE CHACÓN FUENTES
CAMILO ANDRÉS RESTREPO RODRIGUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2018

**PROGRAMA DE DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD) PARA
DESARROLLAR Y SIMULAR CIRCUITOS HIDRAULICOS BÁSICOS CON
LÓGICA BOOLEANA FASE 1**

**ANDRÉS FELIPE CHACÓN FUENTES
CAMILO ANDRÉS RESTREPO RODRIGUEZ**

Tesis de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

**Director:
CARLOS BORRAS PINILLA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2018

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, en especial a mis padres, Humberto Chacón Sáenz y Leonora Yasmin Fuentes Fuentes, quienes, con su apoyo incondicional, me brindaron las herramientas necesarias para culminar esta etapa en mi vida, siendo siempre mi guía e inspiración.

A mis compañeros, en especial a Johan Suarez, y a mi compañero de proyecto y amigo Camilo Andrés Restrepo Rodríguez, por su apoyo y ayuda con conocimientos.

A mi novia Laura Daniela Gil Suarez, por su apoyo constante y compañía en los momentos más difíciles en el desarrollo de este proyecto

Al profesor Carlos Borrás Pinilla, por su confianza y guía, para el desarrollo exitoso de este proyecto.

Andrés Felipe Chacón Fuentes

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, en especial a mis padres, Carlos Restrepo y Esperanza Rodriguez, quienes, siempre han sido un ejemplo para mí, y con su apoyo incondicional me ayudaron a culminar esta etapa en mi vida.

A mi hermana, Diana Maria Restrepo, quien, siempre fue un gran apoyo durante toda esta etapa.

A mis compañeros, que siempre estuvieron para apoyarme cuando las cosas se hacían más complejas.

A mis compañeros, Johan Suarez y a mi compañero de proyecto y amigo Andres Felipe Chacón Fuentes, por su esfuerzo y ayuda para hacer de este proyecto una realidad.

Al profesor Carlos Borrás Pinilla, por su confianza y guía, para el desarrollo exitoso de este proyecto.

Camilo Andrés Restrepo

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1 JUSTIFICACION PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	20
2. OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVO GENERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	21
3. MARCO TEÓRICO	24
3.1 PYTHON	24
3.2 QT	25
3.3 TKINTER	25
3.4 CIRCUITOS HIDRAULICOS	26
3.4.1 Tanque	26
3.4.2 Bomba hidráulica	27
3.4.3 Válvulas.	27
3.4.3.1 Válvulas limitadoras de presión	27
3.4.3.2 Válvulas reguladoras de caudal	30
3.4.3.3 Válvulas direccionales	30
3.4.4 Tuberías hidráulicas	31
3.4.5 Actuadores	32
3.4.5.1 Cilindros	32
3.4.5.2 Motores hidráulicos	32

4. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	33
4.1 REQUERIMIENTOS DEL COMSUMIDOR	33
4.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.....	34
4.3 TABLA DE RELACIONAMIENTO	34
4.4 TABLA DE RESULTADOS	37
5. PLANTEAMIENTOS DE ALTERNATIVAS	38
5.1 ALTERNATIVA 1	38
5.1.1 Descripción del software	39
5.2 ALTERNATIVA 2	39
5.2.1 Descripción del software	40
5.3 ALTERNATIVA 3	41
5.3.1 Descripción del software	41
5.4 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	42
6. DESARROLLO DEL BANCO GRÁFICO DE LOS ELEMENTOS HIDRÁULICOS	43
7. DESARROLLO DEL PROGRAMA CAD PARA DIBUJAR Y SIMULAR CIRCUITOS HIDRAULICOS (FLUID POWER).....	46
7.1 DESARROLLO DE MAIN_SIMULADOR	48
7.1.1 Desarrollo Clase Simu (), Tool_page ().....	49
7.1.2 Desarrollo Clase Library_page (), Select_page ()	52
7.1.3 Desarrollo de las clases List_categorias ().....	53
7.2 DESARROLLO DEL MAIN_CANVAS ()	54
7.2.1 Desarrollo de la función rotar	55
7.2.2 Desarrollo de la clase Main_figures ().....	57
7.2.3 Desarrollo clase Line_class ()	60

7.2.4 Desarrollo general de cada clase, para la creación de los ítems, OBJETO_item()	61
8. LOGICA BOOLEANA.....	63
8.1 PUERTAS LÓGICAS ELEMENTALES	63
8.2 FUNCIONES BOOLEANAS.....	64
8.3 TEOREMAS BOOLEANOS	66
8.4 APLICACIÓN DE LA LOGICA BOOLEANA AL PROYECTO	67
9. SIMULACIÓN.....	80
9.1 CLASE BOMBA_ITEM ():	80
9.2 CLASE ACTUADOR_ITEM ():	82
9.3 CLASE VÁLVULAS DIRECCIONALES DE 2 POSICIONES	83
9.3.1 Clase VDC_4v2p ():	83
9.3.2 Clase VDC_3v2p ():	84
9.3.3 Clase VDC_2v2p ():	86
9.4 CLASE VALVULA_DESCARGA ():.....	87
9.5 CLASE VDCcerrado ():	88
10. CONCLUSIONES	91
11. RECOMENDACIONES.....	93
BIBLIOGRAFIA.....	95
ANEXOS.....	97

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Válvula de seguridad	19
Figura 2. Símbolo Hidráulico del tanque.	27
Figura 3. Símbolo de una bomba hidráulica.	27
Figura 4. Símbolo Hidráulico de válvula de seguridad y descarga.....	28
Figura 5. Válvula de equilibrage.....	29
Figura 6. Símbolo Hidráulico de válvula de frenado.....	29
Figura 7. Símbolo Hidráulico de válvula de secuencia.....	29
Figura 8. Símbolo Hidráulico de válvula reductora de presión	30
Figura 9. Símbolo Hidráulico de una válvula reguladora de caudal.	30
Figura 10. Símbolo Hidráulico de válvula antirretorno en línea.....	31
Figura 11. Símbolo Hidráulico de un cilindro de doble efecto.	32
Figura 12. Símbolo Hidráulico de un motor hidráulico.	32
Figura 13. Interfaz 1	38
Figura 14. Interfaz 2.....	39
Figura 15. Interfaz 3.....	41
Figura 16. Designación de conexiones en una válvula direccional.	44
Figura 17. Tipos de accionamientos.	45
Figura 18. Jerarquía de clases en Tkinter.....	46
Figura 19. Diagrama de diseño del programa CAD	47
Figura 20. Esquema global del programa CAD para desarrollar circuitos hidráulicos	48
Figura 21. Interfaz gráfica del usuario.....	49
Figura 22. Diagrama de flujo class_Simu ():	50
Figura 23. Barra de herramienta en el estado Dibujar.	50
Figura 24. Ejemplos de errores en la simulación.	51

Figura 25. Barra de herramienta Simular	51
Figura 26. Diagrama de flujo class Tools_page ():.....	52
Figura 27. Botones creados en la clase Library_page ().....	53
Figura 28. Botones creados en la clase Select_page ().....	53
Figura 29. Ejemplo de la clase Lista para llegar a graficar un válvula direccional 3 vías dos posiciones retornado por muelle y activada por solenoide	54
Figura 30. Rotación de un punto en 2D alrededor de un punto arbitrario.	55
Figura 31. Válvula 4/2 con los puntos oval x, y oval y, para rotar.	56
Figura 32. Función Rotar items de la figura.	57
Figura 33. Diagrama de flujo class Main figures ():.....	58
Figura 34. Secuencia para crear una línea.	59
Figura 35. Diagrama de flujo de Class Line_class ().....	61
Figura 36. Diagrama de flujo class OBJETO_item():	62
Figura 37. Antes y después de crear los óvalos.	62
Figura 38. Símbolos estandarizados de compuertas lógicas y diagrama lógico de AC+B'C+AA'	66
Figura 39. Circuito ejemplo 1	68
Figura 40. Diagrama lógico de la solución del circuito ejemplo 1.....	69
Figura 41. Diagrama de espacio fase y diagrama de mando del circuito ejemplo 1	70
Figura 42. Circuito ejemplo 1 al activarse el solenoide S1, y al desactivarse el solenoide S1	70
Figura 43. Circuito ejemplo 2	71
Figura 44. Diagrama lógico de la solución del circuito ejemplo 2.....	72
Figura 45. Diagrama de espacio fase y diagrama de mando del circuito ejemplo 2	73
Figura 46. Circuito ejemplo 2 al energizarse el solenoide S1, al des energizarse el solenoide S1 y energizarse el solenoide S2, y ambos solenoides S1 y S2 des energizados	74

Figura 47. Mapa de Karnaugh del circuito ejemplo 2 con la conmutación de los solenoides S1 y S2 de la válvula 4/3	74
Figura 48. Circuito ejemplo 3	75
Figura 49. Diagrama lógico de la solución del circuito ejemplo 3.....	76
Figura 50. Diagrama de espacio fase y diagrama de mando del circuito ejemplo 3	77
Figura 51. Circuito ejemplo 3 al energizarse el solenoide S1, al des energizarse el solenoide S1 y energizarse el solenoide S2, y sin energizar el solenoide S3.....	78
Figura 52. Circuito ejemplo 3 al energizarse el solenoide S1, al des energizarse el solenoide S1 y energizarse el solenoide S2, y energizando el solenoide S3	78
Figura 53 Mapa de Karnaugh del circuito ejemplo 3 con la conmutación de los solenoides S1, y S2 de la válvula 4/3, y el solenoide S3 de la válvula 2/2	78
Figura 54. Válvula 4/2 Estado inicial y estado alternado.....	83
Figura 55. Válvula 3/2 el estado inicial y el estado alternado.	85
Figura 56. Válvula 2/2 el estado inicial y el estado alternado	86
Figura 57. Válvula 4/3 con centro cerrado, Estado inicial, medio y final.	89
Figura 58. Crecimiento de la popularidad de Python en los últimos 5 años.....	92
Figura 59. Interfaz gráfica del usuario cuando está activa el modo “Dibujar”	111
Figura 60. Óvalos de los elementos.....	112
Figura 61. Trazado de una línea.....	113
Figura 62. Error por no conectar un elemento.	114
Figura 63. Error por colocar un elemento que no se puede simular.	114
Figura 64. Modo simular	115
Figura 65. Simulación de un circuito (antes, durante y después de darle clic izquierdo a la válvula direccional)	116
Figura 66. Conexión de la válvula de seguridad.	116

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Base de datos gráficos para la esquematización de los circuitos hidráulicos.....	22
Tabla 2. Matriz de calidad.....	36
Tabla 3. Resultados obtenidos de la Matriz de calidad.....	37
Tabla 4. Ponderación de las alternativas	42
Tabla 5. Tabla de verdad de $AC+B'C+AA'$	65
Tabla 6. Mapa de Karnaugh de $AC+B'C+AA'$	66
Tabla 7. Tabla de la verdad de las líneas del circuito hidráulico ejemplo 1	69
Tabla 8. Tabla de verdad del circuito ejemplo 1 con la conmutación del solenoide de la válvula 4/2.....	71
Tabla 9. Tabla de la verdad de las líneas del circuito hidráulico ejemplo 2	72
Tabla 10. Tabla de la verdad de las líneas del circuito hidráulico ejemplo 3	76
Tabla 11. Símbolos hidráulicos de actuadores.	97
Tabla 12. Símbolos hidráulicos de elementos de alimentación.	98
Tabla 13. Símbolo hidráulico de válvulas direccionales principales.....	99
Tabla 14. Símbolo hidráulico de válvulas direccionales adicionales.....	101
Tabla 15. Símbolos hidráulicos de válvulas de control de caudal.....	103
Tabla 16. Símbolos hidráulicos de válvulas de control de presión.....	105
Tabla 17. Símbolo hidráulico de elementos de medición.....	108

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. TABLA DE LA BASE DE DATOS GRAFICAS DE LOS ELEMENTOS HIDRAULICOS UTILIZADOS	97
ANEXO B. JERARQUIA DE LA CLASE LIST_CATEGORIA ().....	109
ANEXO C. MANUAL DE USUARIO FLUID POWER.....	111

RESUMEN

TÍTULO: PROGRAMA DE DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD) PARA DESARROLLAR Y SIMULAR CIRCUITOS HIDRÁULICOS BÁSICOS CON LÓGICA BOOLEANA FASE 1*

AUTORES: CHACON FUENTES, ANDRES FELIPE
RESTREPO RODRIGUEZ, CAMILO ANDRES **

PALABRAS CLAVE: PYTHON, TKINTER, SIMULAR, CIRCUITOS HIDRAULICOS.

DESCRIPCIÓN:

El desarrollo de la fase 1 del programa CAD para desarrollar y simular circuitos hidráulicos básicos con lógica booleana tratado en este proyecto, cuenta con un lenguaje multiplataforma (*Python*), conocido por la mayoría de los estudiantes de ingeniería.

Los primeros tres capítulos dan una introducción breve de la temática a tratar, sobre conceptos necesarios para entender en que consiste el proyecto y los alcances de este, definiciones tales como; los elementos que componen un circuito hidráulico (válvulas, cilindros de simple efecto, bombas, ...) y que interfaz gráfica de usuario (GUI) se plantearon a usar, ya sea *Qt* o *Tkinter* bajo el dominio del lenguaje *Python*, en el caso del proyecto se decidió usar *Tkinter*, un GUI bastante amigable con el usuario. En los capítulos 4 y 5 abarca las alternativas de diseño del programa y bajo que parámetros de diseño se tuvieron en cuenta. Los capítulos 6, 7 y 8, explica el desarrollo del programa y sus distintos códigos, el capítulo 6 está enfocado en la clasificación y realización del banco de datos gráficos que el programa utilizara para los respectivos símbolos hidráulicos de los elementos, mientras el capítulo 7 abarca la mayoría de la codificación del programa, la caracterización y parametrización de las líneas, imágenes, funciones y clases. Finalmente, el capítulo 8 habla acerca de lo lógica usada en la simulación y animación de los objetos seleccionados en los objetivos.

Por otro lado, se analiza los alcances a futuro del proyecto para una fase 2, ya que el proyecto fue pensado para que futuros estudiantes pudieran tomar el código y añadir mejoras, gracias a utilizar un lenguaje multiplataforma como lo es Python.

* Trabajo de investigación

** Facultad de ingeniera Fisicomecánicas, Ingeniería Mecánica. Carlos Borrás Pinilla.

ABSTRACT

TITLE: COMPUTER ASSISTED DESIGN (CAD) PROGRAM TO DEVELOP AND SIMULATE BASICS HYDRAULICS CIRCUITS WITH BOOLEAN LOGIC PHASE 1.*

AUTHORS: CHACON FUENTES, ANDRES FELIPE
RESTREPO RODRIGUEZ, CAMILO ANDRES.**

KEYWORDS: PYTHON, TKINTER, SIMULATE, HYDRAULIC CIRCUITS.

DESCRIPTION:

The development of phase 1 of the CAD program to develop and simulate basic hydraulic circuits with Boolean logic treated in this project, has a multiplatform language (Python), known by most engineering students.

The first three chapters give a brief introduction of the subject to be discussed, on concepts necessary to understand what the project consists of and the scope of this, definitions such as; the elements that compose a hydraulic circuit (valves, single-effect cylinders, pumps, ...) and which graphical user interface (GUI) were plan to use, whether Qt or Tkinter under the Python language domain, in the case of the project it was decided to use Tkinter, a GUI quite friendly with the user. In Chapters 4 and 5, it covers the design alternatives of the program and under which design parameters were considered. Chapters 6, 7 and 8, explain the development of the program and its different codes, chapter 6 is focused on the classification and realization of the database of graphics that the program will use for the respective hydraulic symbols of the elements, while chapter 7 covers most of the coding of the program, the characterization and parameterization of the lines, images, functions and classes. Finally, chapter 8 talks about the logic used in the simulation and animation of the objects selected in the objectives.

On the other hand, the future scopes of the project are analyzed for a phase 2, since the project was designed so that future students could take the code and add improvements, thanks to using a multiplatform language such as Python.

* Degree Work

** Faculty of Physicmechanical Engineering, Mechanical Engineering, Carlos Borrás Pinilla.

INTRODUCCIÓN

Es de vital importancia tener la capacidad de hacer diagramas y simulaciones para proyectos de ingeniería, por tal razón, hoy en día se desarrollan programas computacionales en todos los campos de la ingeniería con el fin de poder realizar dichos diagramas y simulaciones, los cuales permiten el estudio de los sistemas que se están diseñando y la detección errores antes de realizar la ejecución del proyecto, lo cual evita mal gastar dinero en errores que se pudieron evitar antes de la ejecución.

Este tipo de programas son claves para el diseño de circuitos hidráulicos, ya que permiten verificar si todos los elementos están correctamente conectados y además observar si cada uno de los elementos está cumpliendo con la función para la cual fue seleccionado, esto evita tener que hacer el montaje del sistema y probarlo manualmente.

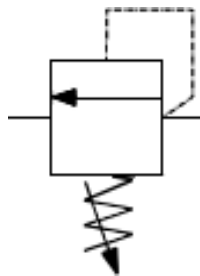
La iniciativa de este proyecto nace de tener un programa libre, el cual puede ser utilizado por todos los estudiantes de la Universidad Industrial de Santander de ingeniería mecánica que estén cursando la materia potencia fluida, y además tener un programa de código libre que pueda ser enriquecido por otros estudiantes, esto con el objetivo de en un futuro tener un programa fuerte para generar diagramas simulaciones de circuitos hidráulicos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La universidad industrial de Santander en su programa de pregrado de ingeniería mecánica carece de herramientas especializadas para la elaboración de diagramas de circuitos hidráulicos básicos altamente utilizados en la asignatura de potencia fluida, la cual se cursa en el octavo nivel, en consecuencia, el estudiante no puede verificar sus diseños de circuitos hidráulicos básicos en un ambiente simulado.

La falta de programas de este tipo dentro de la universidad dificulta la entrega y desarrollo de trabajos ingenieriles que impliquen la esquematización de circuitos hidráulicos básicos, debido a que el estudiante se ve obligado a acudir a otros tipos de softwares no especializados en estos diseños como lo es: Solidworks, Paint, Word, entre otros. Los cuales le dificultan al estudiante la realización de la tarea ya que estos programas no poseen una interfaz amigable con el usuario para este tipo de trabajos, además estos programas no permiten un pleno cumplimiento de la norma de símbolos ISO 1219 1 y la norma ISO 1219 2 en el campo de circuitos hidráulicos.

Figura 1. Válvula de seguridad



En este sentido este proyecto se orientará a la generación de un programa que permita hacer diagramas de circuitos hidráulicos básicos en forma amigable al usuario, con un conjunto de símbolos estandarizados por las normas ya

mencionadas, esto permitirá al estudiante un afianzamiento mayor de los temas tratados en la asignatura de potencia fluida.

1.1 JUSTIFICACION PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

Los altos costos para la adquisición de softwares especializados en el ámbito de diseños de circuitos hidráulicos básicos, como lo es Fluidsim, hace viable el esfuerzo de generar un programa propio el cual contenga las funciones básicas necesarias para el desarrollo para la asignatura de potencia fluida, ya que softwares especializados en este campo, presentan herramientas más avanzadas para el programa de pregrado de ingeniería mecánica y no serían utilizadas en su totalidad lo cual resultaría en una pérdida de dinero.

A su vez la ausencia de un software para la generación de circuitos hidráulicos básicos no fortalece en el estudiante los temas tratados y vistos en la asignatura de potencia fluida. Los estudiantes se ven obligados a diseñar estos circuitos hidráulicos, en softwares no especializados como Solidworks, Paint, Word y entre otros impidiéndole al estudiante verificar dichos circuitos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander de construcción, aplicación y generación de conocimientos; mediante el desarrollo y creación de la primera fase de un programa asistido por computador (CAD) para la elaboración y simulación de circuitos hidráulicos básicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar y elaborar un programa de diseño asistido por computador (CAD), para graficar componentes y circuitos hidráulicos lógicos que apoyen de forma didáctica al estudiante en la asignatura de potencia fluida.
- Desarrollar el programa utilizando una multiplataforma grafica tal como: QT y/o *Tkinter* orientado a objetos, y con lenguaje Python con opción a librerías abiertas para futuras actualizaciones.
- Simular los circuitos hidráulicos con lógica booleana con referencia al flujo, a los siguientes elementos: Bomba hidráulica fija de una dirección, cilindro simple efecto, válvula direccional de 2 vías 2 posiciones, válvula direccional de 3 vías 2 posiciones, válvula direccional de 4 vías 2 posiciones, válvula de descarga y el tanque.
- Elaborar la base de datos gráfica de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 1. Base de datos gráficas para la esquematización de los circuitos hidráulicos.

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN
Actuadores	<p>Cilindros: Cilindro de simple efecto, cilindro de doble efecto, Cilindros de doble vástago y RAM.</p> <p>Motores hidráulicos: Motor hidráulico de caudal fijo de una dirección, motor hidráulico de caudal fijo de dos direcciones, motor hidráulico de caudal variable de una dirección y motor hidráulico de caudal variable de dos direcciones.</p>
Elementos de alimentación	<p>Bombas Hidráulicas: Bomba hidráulica de caudal fijo de una dirección, bomba hidráulica de caudal fijo de dos direcciones, bomba hidráulica de caudal variable de una dirección y bomba hidráulica de caudal variable de dos direcciones.</p> <p>Acumuladores: Acumulador hidráulico.</p> <p>Depósitos: Tanque.</p> <p>Filtros: Filtro hidráulico.</p>
Válvulas direccionales	<p>Válvulas dos posiciones: Válvulas 2/2, válvula 3/2 y válvula 4/2.</p> <p>Válvulas de 3 posiciones y 4 vías: Válvula 4/3 centro abierto, válvula 4/3 centro cerrado, válvula 4/3 centro tándem y válvula 4/3 centro punto flotante.</p> <p>Válvulas de 3 posiciones y 4 vías pilotadas: Válvula pilota pilotada 4/3 centro abierto, válvula pilotada 4/3 centro cerrado, válvula pilotada 4/3 centro tándem y válvula pilotada 4/3 centro punto flotante.</p>
Válvulas de control de caudal	<p>Válvulas antirretornos: Válvula antirretorno, válvula antirretorno con muelle, válvula antirretorno desbloqueable y válvula antirretorno estranguladora.</p> <p>Válvulas de retención: Válvula de retención pilotada con precarga por muelle, válvula de retención con cierre pilotado, válvula de retención con cierre pilotado con precarga por muelle, válvula estranguladora, válvula estranguladora ajustable, orificio, orificio ajustable, y válvula de cierre.</p> <p>Válvulas selectoras: Válvula selectora y válvula distribuidora de caudal.</p>

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN
<p>Válvulas de control de presión</p>	<p>Válvulas limitadoras de presión: Válvula limitadora de presión, válvula limitadora de presión (pre-comandada), válvula limitadora de presión con piloto (pre-comandada).</p> <p>Válvula de desconexión y frenado.</p> <p>Válvulas reguladoras de presión: Válvula reguladora de presión, válvula reguladora de presión ajustable y válvula direccional de 3 vías reductora de presión.</p> <p>Compensadores de presión: Compensador de presión de cierre, compensador de presión de cierre ajustable, compensador de presión de apertura y compensador de presión de apertura ajustable.</p> <p>Válvula de cartuchos: Válvula de cartucho de apertura y válvula de cartucho de cierre.</p>
<p>Instrumentos de medición</p>	<p>Instrumento de medición de presión: Manómetro.</p>

3. MARCO TEÓRICO

Se presenta a continuación las bases conceptuales que están relacionados con el presente trabajo de grado.

3.1 PYTHON

Python es un lenguaje de programación poderoso y fácil de aprender. Cuenta con estructuras de datos eficientes y de alto nivel y un enfoque simple pero efectivo a la programación orientada a objetos. La elegante sintaxis de Python y su tipado dinámico, junto con su naturaleza interpretada, hacen de éste un lenguaje ideal para scripting y desarrollo rápido de aplicaciones en diversas áreas y sobre la mayoría de las plataformas¹, razón por la cual se eligió este lenguaje de programación para la elaboración de este proyecto.

El intérprete de Python y la extensa biblioteca estándar están a libre disposición en forma binaria y de código fuente para las principales plataformas desde el sitio web de Python, <http://www.python.org/>, y puede distribuirse libremente. El mismo sitio contiene también distribuciones y enlaces de muchos módulos libres de Python de terceros, programas y herramientas, y documentación adicional², al ser Python un lenguaje libre y gratis no se presentará ningún problema por derechos de autor a la hora de utilizar este lenguaje.

¹ PYTHON. Introducción [en línea]. [Citado el 19 de Diciembre de 2017]. Disponible en: <http://docs.python.org.ar/tutorial/3/real-index.html>

² Ibíd.

3.2 QT

Qt es un framework multiplataforma orientado a objetos ampliamente usado para desarrollar programas (software) que utilicen interfaz gráfica de usuario, así como también diferentes tipos de herramientas para la línea de comandos y consolas para servidores que no necesitan una interfaz gráfica de usuario.

Qt utiliza el lenguaje de programación C++ de forma nativa, adicionalmente puede ser utilizado en varios otros lenguajes de programación a través de bindings. También es usada en sistemas informáticos embebidos para automoción, aeronavegación y aparatos domésticos como frigoríficos.³

3.3 TKINTER

Tkinter es un binding de la biblioteca gráfica Tcl/Tk para el lenguaje de programación Python, con estos queremos decir que Tk se encuentra disponible para varios lenguajes de programación entre los cuales se encuentra Python con el nombre de Tkinter. Este no es más que una capa de esta librería para el lenguaje Python con lo cual usar Tk en otro lenguaje no nos supondrá un inconveniente. Se considera un estándar para la interfaz gráfica de usuario (GUI) para Python y es el que viene por defecto con la instalación para Microsoft Windows y preinstalado en la mayoría de las distribuciones de GNU/Linux.⁴

Con *Tkinter* podremos conseguir resultados casi tan buenos como con otras librerías gráficas siempre teniendo en cuenta que quizás con otras herramientas podamos realizar trabajos más complejos donde necesitemos una plataforma más

³ PYTHON. Qt (biblioteca) [en línea] [citado el 19 de Diciembre de 2017]. disponible en: <http://docs.python.org.ar/tutorial/3/real-index.html>

⁴ ALVAREZ, Alejandro. Guía Tkinter documentation. Mayo, 2016, 17p.

robusta, pero como herramienta didáctica e interfaces sencillas nos sobra, dándonos una perspectiva de lo que se trata el desarrollo de una parte muy importante de una aplicación si deseamos distribuirla. Gracias a *Tkinter* veremos cómo interactuar con el usuario pidiéndole el ingreso de datos, capturando la pulsación de teclas, movimientos del mouse, entre algunas de las cosas que podremos lograr⁵.

3.4 CIRCUITOS HIDRAULICOS

En los circuitos hidráulicos el fluido es un líquido, que es capaz de transmitir presión a lo largo de un circuito. Se puede utilizar agua, aceite y oxígeno o nitrógeno líquido, pero habitualmente se emplea aceite industrial, que se obtiene de la destilación del petróleo; por esta razón, en ocasiones se usa el término circuitos oleo hidráulicos. Los circuitos hidráulicos son cerrados, es decir, el líquido retorna al depósito después de realizar un trabajo⁶.

Como un circuito hidráulico es sistema que comprende un conjunto de elementos interconectados con el propósito de transportar un fluido para generar transmisión de energía, a continuación, se presentara los elementos principales que componen un circuito hidráulico.

3.4.1 Tanque En los circuitos hidráulicos el depósito o tanque suele tener la doble función de almacenar el fluido y de acondicionarlo antes de que entre en la bomba. En el depósito, el líquido se mantiene a una temperatura y presión adecuadas, y se separan de él el aire y las impurezas que pudieran deteriorar el sistema. Una vez que el líquido ha circulado hasta los actuadores y ha realizado el trabajo en cuestión,

⁵ *Ibíd.* 17p.

⁶ GRUPO VIRTUS Circuitos neumáticos e hidráulicos [en línea] [citado el 19 de Diciembre de 2017]. disponible en: http://grupovirtus.org/moodle/pluginfile.php/5706/mod_resource/content/1/semana2/Unidad_2Circuitos_Neumaticos_e_Hidraulicos.pdf >

se hace retornar al depósito con el fin de poder emplearlo otras veces. Este líquido de retorno se hace circular alrededor de la pared exterior del depósito para que se enfríe antes de introducirse de nuevo en él.⁷

Figura 2. Símbolo Hidráulico del tanque.



3.4.2 Bomba hidráulica En los circuitos hidráulicos se utilizan bombas para poner en movimiento el fluido de manera que pueda ejercer presión sobre los actuadores. A la entrada de la bomba se crea un cierto vacío que favorece el paso del fluido. Una vez dentro de la bomba, las paletas o engranajes hacen que el líquido gire y se acelere hacia la salida. El líquido es así «empujado» hacia el sistema. La bomba está continuamente funcionando, puesto que la única forma de comunicar presión a un líquido es haciendo que circule.⁸

Figura 3. Símbolo de una bomba hidráulica.



3.4.3 Válvulas. Son los elementos de un circuito hidráulico que realizan las funciones de abrir, cerrar regular y controlar el flujo y la presión del fluido en el circuito hidráulico.⁹

3.4.3.1 Válvulas limitadoras de presión. Las válvulas de control de presión realizan funciones tales como limitar la presión máxima de un sistema o regular la

⁷ Ibíd.

⁸ Ibíd.

⁹ Ibíd.

presión reducida en ciertas partes de un circuito, y otras actividades que implican cambios en la presión de trabajo, los controles de presión se denominan generalmente según su función primaria¹⁰, a continuación, se presenta los diferentes controles de válvula de presión.

Válvula de seguridad y descarga: la válvula de seguridad se halla prácticamente en todos los sistemas hidráulicos. Es una válvula normalmente conectada entre la línea de presión (salida de la bomba) y el depósito. Su objeto es limitar la presión del sistema hasta un valor máximo predeterminado mediante la derivación de parte o de todo el caudal de la bomba a tanque, cuando se alcanza el ajuste de presión de la válvula¹¹.

Una válvula de descarga y seguridad se utiliza en los circuitos con acumuladores para (1) limitar la presión máxima y (2) poner a descargar la bomba, cuando se alcanza la presión deseada en el acumulador.¹²

Figura 4. Símbolo Hidráulico de válvula de seguridad y descarga.



Válvulas de equilibrado: Una válvula de equilibrado se utiliza para controlar un cilindro vertical de tal forma que se evite su descenso libre, debido a la fuerza de gravedad.¹³

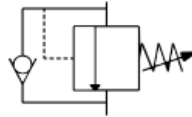
¹⁰ VICKERS. Manual de oleo hidráulica industrial. Barcelona: Blume. p. 156.

¹¹ Ibíd. p. 156.

¹² Ibíd. p. 170.

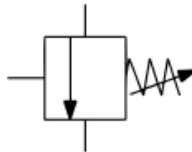
¹³ Ibíd. p. 162.

Figura 5. Válvula de equilibraje.



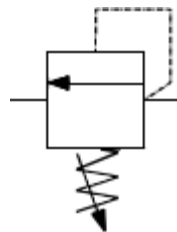
Válvulas de frenado: Se instalan en la línea de retorno de un motor hidráulico para: (1) evitar exceso de velocidad cuando se aplica una carga demasiado grande al eje del motor y (2) evitar presión excesiva cuando se desee desacelerar o para una carga.¹⁴

Figura 6. Símbolo Hidráulico de válvula de frenado.



Válvula de secuencia: Una válvula de secuencia se usa en un sistema para accionar los actuadores en un orden determinado para mantener una presión mínima predeterminada en la línea primaria mientras se produce la operación secundaria. Para mantener la presión en el sistema primario, la válvula está pilotada internamente. Sin embargo, el drenaje debe ser externo.¹⁵

Figura 7. Símbolo Hidráulico de válvula de secuencia.



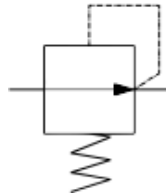
Válvula reguladora o reductora de presión: Las válvulas reductoras de presión son controles de presión, normalmente abiertas, utilizados para mantener presiones

¹⁴ Ibíd. p. 166.

¹⁵ Ibíd. p. 162.

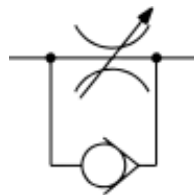
reducidas en ciertas partes de un circuito. Las válvulas son actuadas por la presión de salida, que tiende a cerrarlas cuando se llega al taraje de la válvula, evitándose así un aumento no deseado de presión. Se utilizan válvulas de acción directa y válvulas reductoras pilotadas.¹⁶

Figura 8. Símbolo Hidráulico de válvula reductora de presión



3.4.3.2 Válvulas reguladoras de caudal. Las válvulas reguladoras de caudal se utilizan para regular la velocidad. La velocidad de un actuador depende de la cantidad de aceite que se le envía por unidad de tiempo. Es posible regular el caudal con una bomba de desplazamiento variable, pero en muchos circuitos es más práctico utilizar una bomba de desplazamiento fijo y regular el caudal con una válvula reguladora de caudal.¹⁷

Figura 9. Símbolo Hidráulico de una válvula reguladora de caudal.



3.4.3.3 Válvulas direccionales. Las válvulas direccionales, como su nombre indica, se usan para controlar la dirección del caudal. Aunque todas realizan esta función,

¹⁶ Ibíd. p. 167-168.

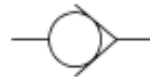
¹⁷ Ibíd. p. 173.

las válvulas direccionales varían considerablemente en construcción y funcionamiento. Se clasifican, según sus características principales, en:¹⁸

- Tipo de elemento interno. Obturador (pistón o esfera), corredera rotativa o deslizante.
- Métodos de actuación. Levas, émbolos, palancas manuales, mecánicos, solenoides eléctricos, presión hidráulica y otros, incluyendo combinaciones de estos.
- Numero de vías. Dos vías, tres vías, etc..., tamaño nominal de las tuberías conectadas a la válvula o a su placa base, o caudal nominal.
- Conexiones. Roscas cónicas, roscas cilíndricas, bridas y placas bases.

Válvula antirretorno: Una válvula antirretorno puede funcionar como control direccional o como control de presión. Una válvula antirretorno no es más que una válvula direccional de una sola vía. Permite el paso libre del aceite en una dirección y lo bloquea en la otra.

Figura 10. Símbolo Hidráulico de válvula antirretorno en línea.



3.4.4 Tuberías hidráulicas Tuberías es un término general que engloba las diferentes clases de leneas de conducción que transportan el fluido hidráulico entre los componentes, así como las conexiones utilizadas entre los conductores, así como las conexiones utilizadas entre los conductores. Los sistemas hidráulicos utilizan principalmente tres tipos de línea de conducción: tubos gas, tubos milimétricos y mangueras flexibles. Actualmente los tubos gas son los menos costosos de los tres, mientras que los tubos milimétricos y las mangueras flexibles

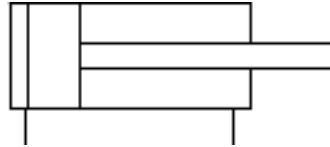
¹⁸ Ibíd. p. 116.

son más convenientes para hacer conexiones y para el mantenimiento de las instalaciones.¹⁹

3.4.5 Actuadores Los actuadores o elementos de trabajo que es donde realmente empieza el diseño del sistema. Entre ellos tenemos:

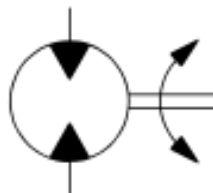
3.4.5.1 Cilindros. Los cilindros son actuadores lineales. Por lo lineal queremos decir que el trabajo de un cilindro se realiza en línea recta, los cilindros se clasifican como a) cilindros de simple o doble efecto, b) cilindros diferenciales.²⁰

Figura 11. Símbolo Hidráulico de un cilindro de doble efecto.



3.4.5.2 Motores hidráulicos. La construcción de los motores se parece mucho a la de las bombas. En vez de impulsar el fluido, como lo hace una bomba, son impulsados por este y desarrollan un par y movimiento continuo de rotación. Como los dos orificios del motor, de entrada y de salida, pueden ser ambos presurizados (motores bidireccionales), la mayoría de los motores hidráulicos llevan drenaje externo²¹.

Figura 12. Símbolo Hidráulico de un motor hidráulico.



¹⁹ Ibíd. p. 51.

²⁰ Ibíd. p. 88

²¹ Ibíd. p. 98.

4. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

4.1 REQUERIMIENTOS DEL CONSUMIDOR

En el siguiente listado se establecen las demandas básicas de los interesados en el software didáctico, obtenidas por varias encuestas a estudiantes de ingeniería mecánica en la universidad industrial de Santander.

- Múltiples funciones.
- Respuesta rápida.
- Fácil de manejar.
- Eficaz.
- Simbología estándar.
- Económico.
- Adaptabilidad.
- Portable.
- Librerías.
- Soporte técnico.
- Fácil de instalar.
- Accesibilidad.
- Mantenimiento.

4.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

En el siguiente listado se establecen los requerimientos de diseño para el software didáctico, obtenidas por una lluvia de ideas por los participantes en el proyecto y desarrollo de este.

- Interfaz didáctica.
- Base de datos.
- Compatibilidad.
- Simulación básica.
- Tiempo de respuesta.
- Economía.
- Almacenamiento.
- Conectividad.
- Actualizable.
- Manuales de uso.
- Versatilidad.
- Lenguaje.

4.3 TABLA DE RELACIONAMIENTO

Con el uso de un método asociativo, se organiza los requerimientos de diseño. Inicialmente se introduce los requerimientos del consumidor en celdas verticales de mayor importancia desde el punto de vista del consumidor al menor, otorgándole la mayor puntuación al primer criterio en la primera celda e ir disminuyendo hasta el último criterio. En la parte superior de la matriz de calidad se escribe los requerimientos de diseño en celdas horizontales.

Ahora es necesario relacionar los requerimientos de diseño con los requerimientos del consumidor, donde 0 significa que no existe relación entre estos dos criterios, 1 donde el requerimiento de diseño no satisface del todo a la necesidad del cliente, 3 donde la relación es buena pero no la mejor opción, y 9 donde el criterio de diseño satisface totalmente la necesidad del consumidor, ya siendo ponderado cada relación se determina el grado de importancia de cada criterio de diseño establecido por la lluvia de idea.

Tabla 2. Matriz de calidad.

	Interfaz didáctica		Base de datos		Compatibilidad		Simulación básica		Tiempo de respuesta		Economía		Almacenamiento		Conectividad		Actualizable		Manuales de uso		Versatilidad		Lenguaje		
Múltiples funciones	13	9	117	3	39	9	117	1	13	3	39	9	117	1	13	0	0	0	0	3	39	9	117	1	13
Respuesta rápida	12	1	12	9	108	0	0	9	108	9	108	3	36	3	36	1	12	0	0	0	0	1	12	0	0
Fácil de manejar	11	9	99	0	0	0	0	3	33	0	0	1	11	0	0	0	0	0	0	9	99	0	0	9	99
Eficaz	10	1	10	3	30	1	10	3	30	9	90	3	30	3	30	3	30	0	0	1	10	3	30	0	0
Simbología estándar	9	9	81	3	27	3	27	3	27	0	0	0	0	0	0	0	0	3	27	0	0	0	0	0	0
Económico	8	3	24	1	8	3	24	1	8	3	24	9	72	0	0	3	24	0	0	3	24	3	24	1	8
Adaptabilidad	7	0	0	0	0	9	63	0	0	1	7	3	21	0	0	0	0	0	0	0	0	9	63	0	0
Portable	6	1	6	0	0	3	18	0	0	1	6	1	6	9	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Librerías	5	3	15	1	5	3	15	3	15	1	5	1	5	3	15	0	0	9	45	0	0	0	0	0	0
Soporte técnico	4	0	0	3	12	0	0	0	0	0	0	3	12	0	0	9	36	0	0	9	36	0	0	1	4
Fácil de instalar	3	0	0	0	0	9	27	0	0	0	0	0	0	3	9	0	0	1	3	3	9	0	0	3	9
Accesibilidad	2	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mto	1	3	3	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	3	3	0	0	9	9	0	0	1	1
TOTAL			373		230		302		234		280		317		157		105		75		226		246		134

4.4 TABLA DE RESULTADOS

Luego de establecer la matriz de calidad se procede a ponderar los resultados obtenidos, a fin de definir los requerimientos de diseño esenciales en los cuales se escogen para tomar la decisión final de la alternativa más acorde a los requerimientos del consumidor.

A continuación, se muestran los 5 requerimientos de diseño más relevantes con su respectiva ponderación y porcentaje, obtenidos por la solución de la matriz de calidad para el diseño de una maquina desbrozadora:

Tabla 3. Resultados obtenidos de la Matriz de calidad.

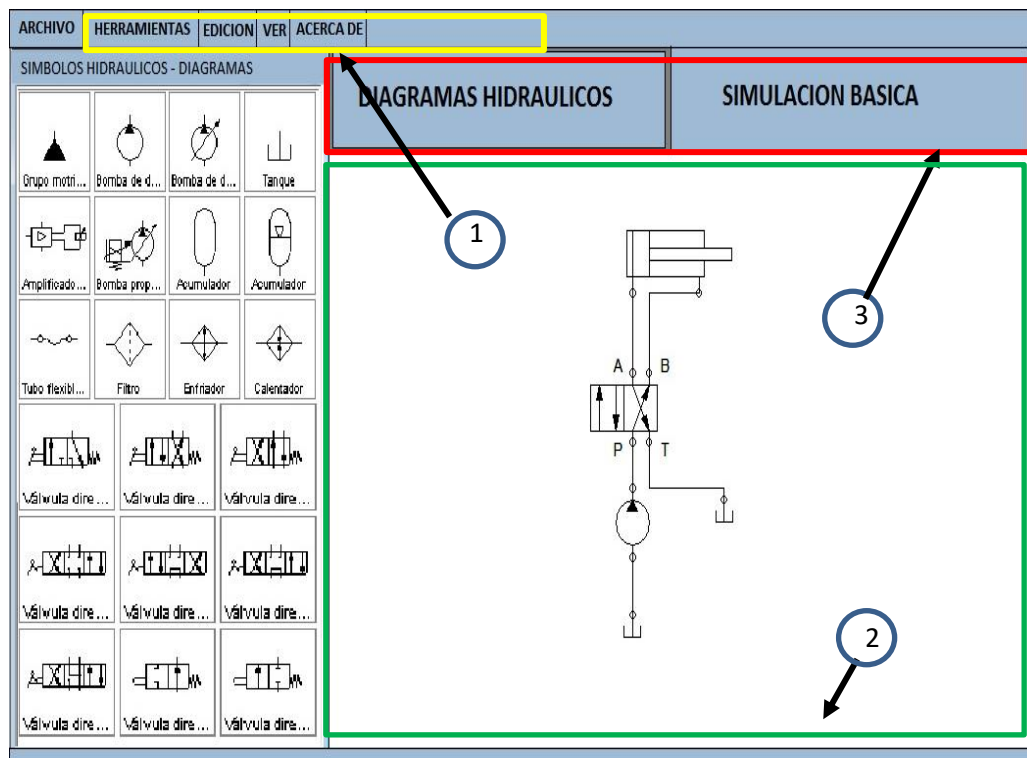
CRITERIOS DE DISEÑOS ESCENCIALES	PONDERACION	PORCENTAJE
Interfaz didáctica	373	24,77%
Economía	317	21,05%
Compatibilidad	302	20,05%
Tiempo de respuesta	280	18,59%
Simulación básica	234	15,54%
TOTAL	1506	100,00%

5. PLANTEAMIENTOS DE ALTERNATIVAS

Enseguida se presentan las diferentes alternativas de solución de las cuales se escogerá la que más se ajuste a las necesidades del cliente, tomando en cuenta los criterios de diseños obtenidos por la matriz de solución.

5.1 ALTERNATIVA 1

Figura 13. Interfaz 1

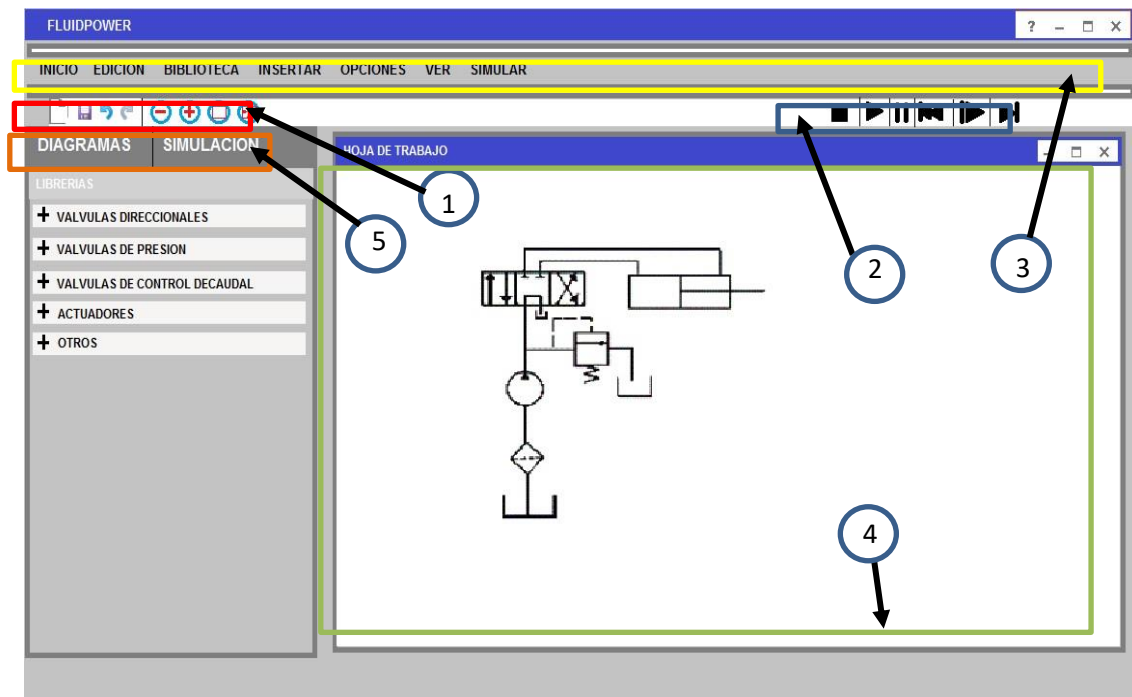


5.1.1 Descripción del software

1. Banda de opciones: En este sector se encuentra la mayoría de los comandos propios del programa que servirán para realizar los diversos circuitos hidráulicos.
2. Hoja de trabajo: En esta área del programa se procederá a hacer el bosquejo de los diversos circuitos hidráulicos.
3. Biblioteca: Esta sección contiene todos los elementos necesarios y estandarizados para la realización y construcción de un circuito hidráulico, separado por categorías (Válvulas direccionales, actuadores, válvulas de presión...), aparte de eso tiene una opción donde muestra solo los elementos básicos permitidos en la simulación.

5.2 ALTERNATIVA 2

Figura 14. Interfaz 2

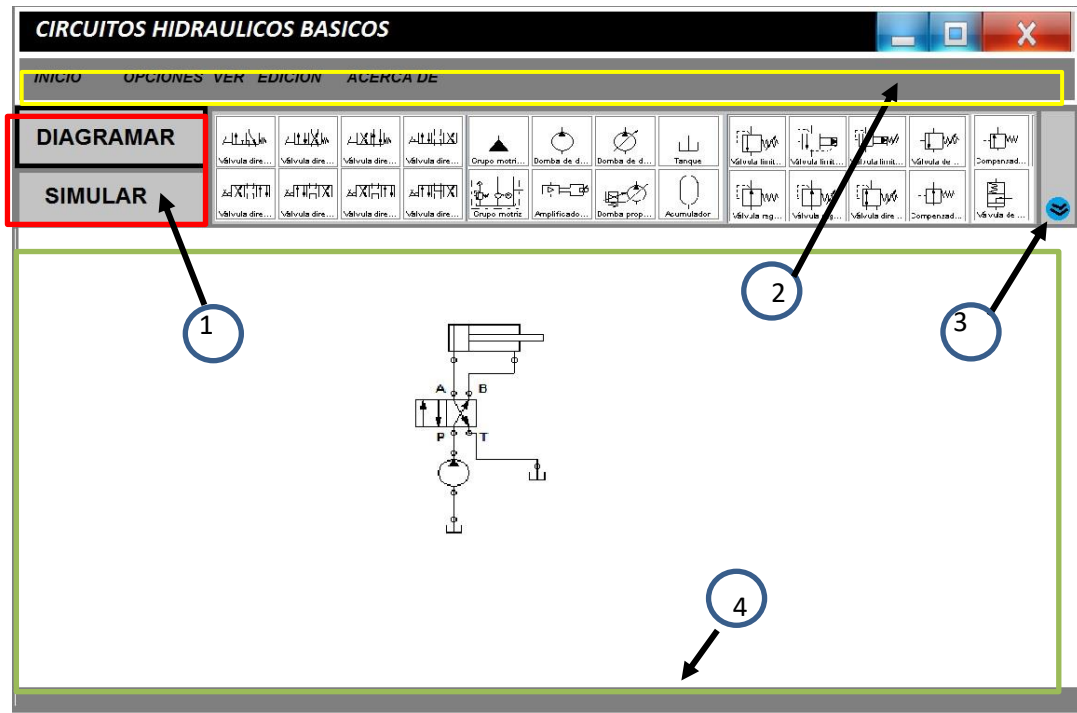


5.2.1 Descripción del software

1. Banda de herramientas de acceso rápido: Esta sección contiene los iconos de los comandos más habituales, como lo es el icono de guardar, las opciones de zoom, retroceder una acción, entre otros.
2. Banda de simulación: Este panel contiene los iconos del comando de simulación lo cuales son reproducir, pausar, parar, retroceder o adelantar la simulación.
3. Banda de opciones: En este sector se encuentra la mayoría de los comandos propios del programa que servirán para realizar los diversos circuitos hidráulicos.
4. Hoja de trabajo: En esta área del programa se procederá a hacer el bosquejo de los diversos circuitos hidráulicos.
5. Biblioteca: Esta sección contiene todos los elementos necesarios y estandarizados para la realización y construcción de un circuito hidráulico, separado por categorías (Válvulas direccionales, actuadores, válvulas de presión), aparte de eso tiene una opción donde muestra solo los elementos básicos permitidos en la simulación.

5.3 ALTERNATIVA 3

Figura 15. Interfaz 3



5.3.1 Descripción del software

1. Biblioteca: Esta sección contiene todos los elementos necesarios y estandarizados para la realización y construcción de un circuito hidráulico, separado por categorías (Válvulas direccionales, actuadores, válvulas de presión...), aparte de eso tiene una opción donde muestra solo los elementos básicos permitidos en la simulación.
2. Banda de opciones: En este sector se encuentra la mayoría de los comandos propios del programa que servirán para realizar los diversos circuitos hidráulicos.
3. Botón de ayuda: En el botón de ayuda están los accesos directos a las ayudas del programa.
4. Hoja de trabajo: En esta área del programa se procederá a hacer el bosquejo de los diversos circuitos hidráulicos.

5.4 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Para la evaluación de la alternativa se tiene en cuenta los 5 criterios de diseños establecidos previamente, haciendo un ponderado por cada alternativa, la alternativa elegida será la cual obtenga una ponderación mayor.

Tabla 4. Ponderación de las alternativas

CRITERIOS DE DISEÑOS ESCENCIALES	Porcentaje	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
Interfaz didáctica	24,77%	4	0,9907	4,8	1,1888	3	0,743
Economía	21,05%	3,5	0,7367	4,5	0,9472	3,5	0,7367
Compatibilidad	20,05%	3,5	0,7019	5	1,0027	4	0,8021
Tiempo de respuesta	18,59%	5	0,9296	5	0,9296	5	0,9296
Simulación básica	15,54%	4	0,6215	4	0,6215	4	0,6215
TOTAL	100,00%		3,9804		4,6898		3,833

Con la ponderación ya establecida, se llega a la conclusión que la alternativa que se acerca más a las necesidades del consumidor es la alternativa dos la que alcanzo un mayor puntaje y por lo tanto cumple de manera global con los requerimientos del proyecto.

6. DESARROLLO DEL BANCO GRÁFICO DE LOS ELEMENTOS HIDRÁULICOS

Para el desarrollo y construcción del banco gráfico de los elementos que componen un circuito hidráulico, estos fueron basados en la norma ISO 1219 1 y la ISO 1219 2, normas que son encargadas de representar los símbolos que se deben utilizar en los esquemas neumáticos e hidráulicos.

Para las válvulas direccionales, se nombran y representan con un arreglo a su constitución, de manera que se indica en primer lugar el número de vías (orificios de entrada o salida) y a continuación el número de posiciones, su representación sigue las siguientes reglas: ²²,

1. Cada posición se indica por un cuadrado.
2. Se indica en cada casilla (cuadrado), las canalizaciones, el sentido del flujo y las situaciones de las conexiones (vías).
3. Las vías de las válvulas se dibujan en la posición de reposo.
4. El desplazamiento a la posición de trabajo se realiza transversalmente, hasta que las canalizaciones coinciden con las vías en la nueva posición.
5. Se indica el tipo de mando que modifica la posición de la válvula (señal de pilotaje).

²² CAMPUS VIRTUAL UNIVERSIDAD DEL TRABAJO DE URUGUAY Unidad didáctica: “Simbología neumática e hidráulica” [en línea] [citado el 19 de Diciembre de 2017] disponible en: <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecánica-general/MATERIAL%20BIBLIOGRAFICO%20TECNICO%20PARA%20APOYO%20DOCENTE/APORTES%20VARIOS%20PARA%20DOCENTES/CURSO%20DE%20HIDRAULICA/SIMBOLOGIA%20NEUMATICA%20E%20HIDRAULICA.pdf>

Figura 16. Designación de conexiones en una válvula direccional.

	El aire circula de 1 a 2		El punto relleno, indica que las canalizaciones están unidas.
	El aire circula de 3 a 4		El triángulo indica la situación de un escape de aire sobre la válvula.
	El trazo transversal indica que no se permite el paso de aire.		El escape de aire se encuentra con un orificio roscado, que permite acoplar un silenciador si se desea.

Fuente: CAMPUS VIRTUAL UNIVERSIDAD DEL TRABAJO DE URUGUAY Unidad didáctica: “Simbología neumática e hidráulica” [en línea] [citado el 19 de Diciembre de 2017] disponible en: <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecánica-general/MATERIAL%20BIBLIOGRAFICO%20TECNICO%20PARA%20APOYO%20DOCENTE/APORTES%20VARIOS%20PARA%20DOCENTES/CURSO%20DE%20HIDRAULICA/SIMBOLOGIA%20NEUMATICA%20E%20HIDRAULICA.pdf>

Cuando se habla del tipo de mando, se hace referencia al tipo de accionamiento que modifica la posición de la válvula, en el presente programa se decidió hacer uso solamente de accionamiento por muelle, por solenoide, y con pilotaje hidráulico; ya que estos tres son los más frecuentes en los circuitos hidráulicos, y la elección de otro tipo de accionamiento no afecta la funcionalidad o el objetivo de la válvula, a continuación, se presentara los diversos tipos de accionamientos, resaltando en cuadros rojos los accionamientos usados en el programa.

Figura 17. Tipos de accionamientos.

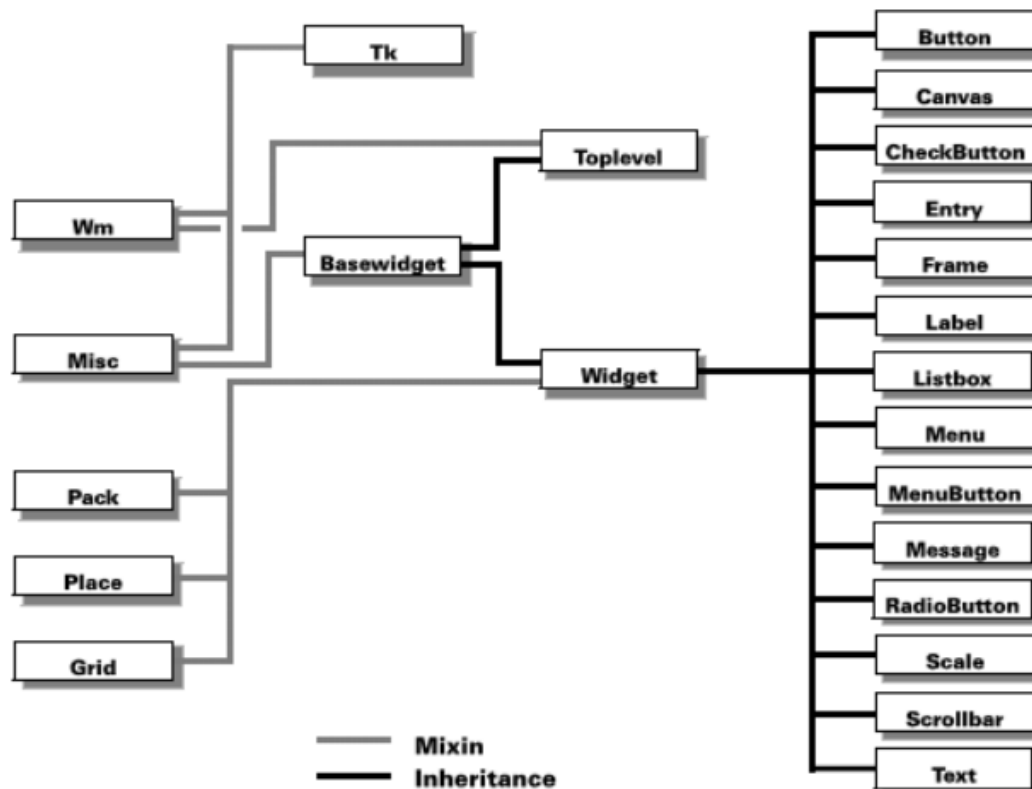
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Mando manual en general, pulsador.		Rodillo escamoteable, accionamiento en un sentido, control mecánico.
	Botón pulsador, seta, control manual.		Mando electromagnético con una bobina.
	Mando por palanca, control manual.		Mando electromagnético con dos bobinas actuando de forma opuesta.
	Mando por pedal, control manual.		Control combinado por electroválvula y válvula de pilotaje.
	Mando por llave, control manual.		Mando por presión. Con válvula de pilotaje neumático
	Mando con bloqueo, control manual.		Presurizado neumático.
	Muelle, control mecánico.		Pilotaje hidráulico. Con válvula de pilotaje.
	Palpador, control mecánico en general.		Pilotaje hidráulico. Con válvula de pilotaje.
	Rodillo palpador, control mecánico.		Presurizado hidráulico.

Fuente: CAMPUS VIRTUAL UNIVERSIDAD DEL TRABAJO DE URUGUAY Unidad didáctica: "Simbología neumática e hidráulica" [en línea] [citado el 19 de Diciembre de 2017] disponible en: <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecánica-general/MATERIAL%20BIBLIOGRAFICO%20TECNICO%20PARA%20APOYO%20DOCENTE/APORTES%20VARIOS%20PARA%20DOCENTES/CURSO%20DE%20HIDRAULICA/SIMBOLOGIA%20NEUMATICA%20E%20HIDRAULICA.pdf>

Para el desarrollo del resto de los elementos de un circuito hidráulico, las imágenes se basaron en las normas ya mencionadas. Para la realización de estos diseños, se usó el software *Solidworks*, realizando el croquis de cada símbolo del elemento hidráulico, posteriormente este croquis se guardó tipo formato png (*Portable Network Graphics*), formato el cual es compatible con el lenguaje Python. El anexo A muestra la base de datos gráficos de los elementos hidráulicos que se utilizaron en la creación y desarrollo de este programa.

7. DESARROLLO DEL PROGRAMA CAD PARA DIBUJAR Y SIMULAR CIRCUITOS HIDRAULICOS (FLUID POWER)

Figura 18. Jerarquía de clases en Tkinter



Fuente: Python and Tkinter Programming

Diferente a muchos sistemas de ventana, la jerarquía de Tkinter es bastante simple, de hecho, realmente no hay jerarquía del todo. Las clases WM (window manager), Misc, Pack, Place y Grid están entrelazados a cada de las clases widget²³. La mayoría de los programadores solo necesitan saber sobre el nivel más bajo en el

²³ En informática, un **widget** o **artilugio**¹ es una pequeña aplicación o programa, usualmente presentado en archivos o ficheros pequeños que son ejecutados por un motor de *widgets* o *Widget Engine*.

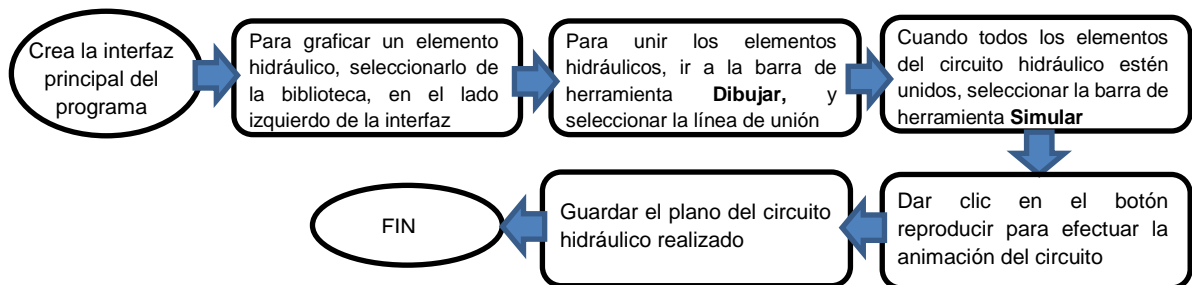
árbol para desarrollar cada día operaciones y es frecuentemente posible ignorar los niveles más altos²⁴. La jerarquía hipotética se observa en la figura 16.

Una clase en *Python* es un tipo de dato definido por el usuario el cual es definido con una declaración de clase. Las declaraciones son cualquier declaración válido por *Python* definiendo atributos y funciones, a su vez una clase provee a un objeto las siguientes descripciones²⁵:

- El atributo (datos-afiliación) del objeto.
- El comportamiento del objeto (métodos).
- Donde el comportamiento es heredado de otras clases.

Para el diseño del programa, este está dividido en tres códigos, el primer código llamado *Main_simulador*, es donde se crea la ventana principal del programa y donde los otros dos códigos son llamados como si tratasen de una biblioteca, el segundo código es la creación de la barra de menú (*Main_menu*), donde se crea el menú de la ventana ubicado en la parte superior, y el tercer código (*Main_canvas*) que está relacionado con toda la parte gráfica y simulación del programa.

Figura 19. Diagrama de diseño del programa CAD



²⁴GRAYSON, Jhon. *Python and Tkinter Programming*. Greenwich: Manning. p.17.

²⁵ *Ibíd.* p.9.

En si la función principal del código Main_simulador es llamar a los demás códigos y bibliotecas necesarias para crear la interfaz del usuario, ubicando y creando todos los *frames*²⁶ y botones necesarios para la creación de este, *frames* tales como; el lienzo donde se dibuja los elementos del circuito hidráulico, el espacio donde se crean los botones de los elementos, y la barra de herramientas de las opciones de simular y dibujar.

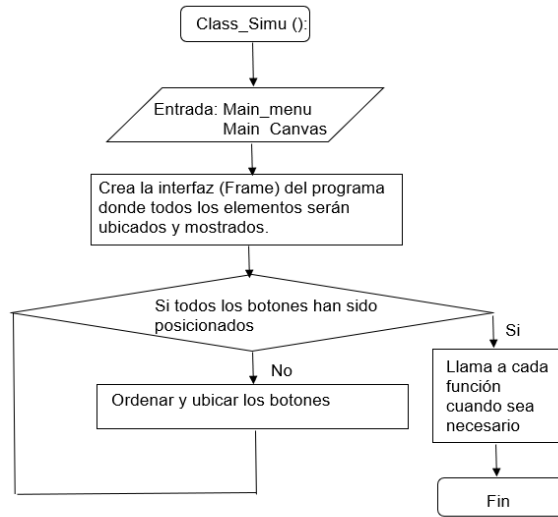
Figura 21. Interfaz gráfica del usuario.



7.1.1 Desarrollo Clase Simu (), Tool_page () La clase Simu (), configura el tamaño y resto de los parámetros de la ventana principal de trabajo, es aquí donde se acomoda cada *frame* y botón en la ventana, a su vez está compuesto de varias funciones que controla los campos en que está trabajando el usuario, detecta si el usuario está trabajando en sus dos únicas opciones, simular o dibujar, y en base de eso llama a la clase Tool_page (), y crea la barra de herramienta necesaria.

²⁶ En informática, los **frame** o **marcos** se usan para dividir la pantalla en zonas independientes, cada uno con una pantalla o almacenamiento de datos.

Figura 22. Diagrama de flujo class_Simu ():



La función Tool_page (), como se mencionó anteriormente, detecta en qué estado está el usuario, si está en el estado **Dibujar**, ya se puede empezar a graficar los elementos hidráulicos, de caso contrario, no se creará ningún elemento, a su vez se crea una barra de herramientas con tres ayudas:

- **Crear línea:** Cuando los elementos hidráulicos ya estén dibujados, esta opción permite conectarlos mediante líneas de trazos continuos.
- **Interactuar con el objeto:** Con esta ayuda se permite interactuar con el objeto de tal forma que este se pueda arrastrar con el movimiento del mouse, o girando con el clic izquierdo del mouse.
- **Reiniciar:** Esta opción elimina todos los elementos presentes en la hoja de trabajo.

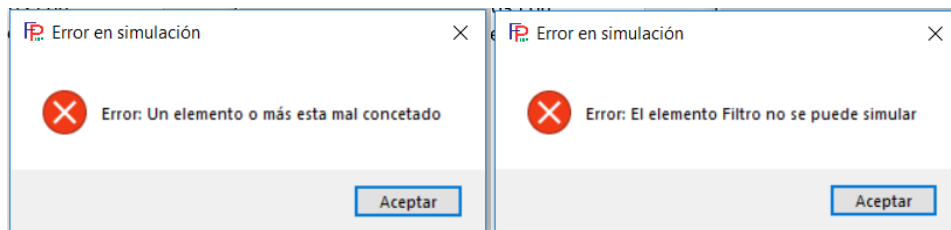
Figura 23. Barra de herramienta en el estado Dibujar.



Ahora si está en el estado **Simular**, la clase Tool_page () chequeara si el circuito es válido para simular, si el circuito es válido se podrá proceder con la simulación del

circuito, como valido se especifica que todos los elementos del circuito hidráulico sean los preseleccionados anteriormente, que estén conectados con otro, y que sea un circuito cerrado, en caso contrario se muestra una ventana emergente con un mensaje diciendo la posible causa del porque no se puede simular, ya sea porque un elemento no esté conectado, o se haya intentado con un ítem no valido.

Figura 24. Ejemplos de errores en la simulación.

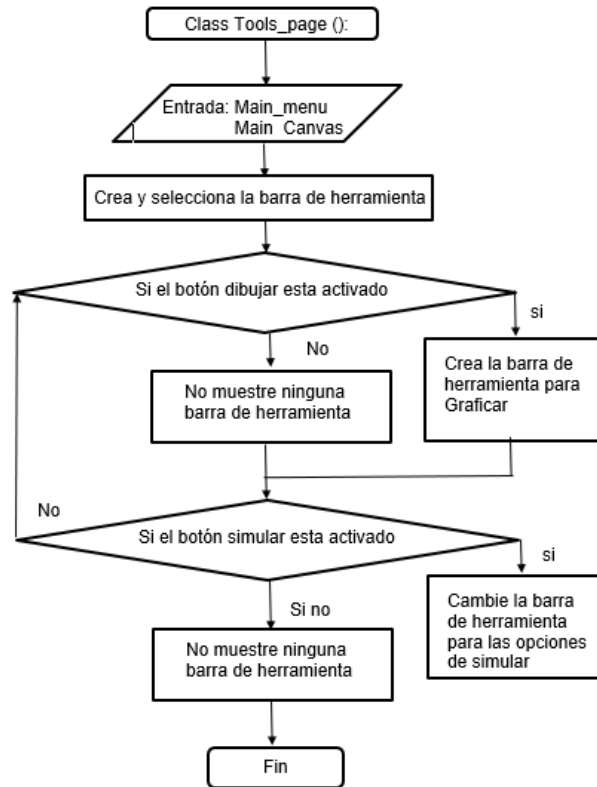


Cuando se crea la barra de herramienta en estado **Simular**, esta se crea con solo dos botones, uno de **reproducir**, el cual corre la simulación, y otro de **parar**, que devuelve al estado inicial, antes de la simulación.

Figura 25. Barra de herramienta Simular

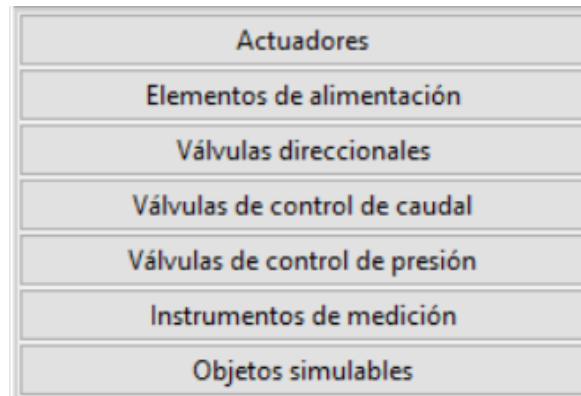


Figura 26. Diagrama de flujo class Tools_page ():



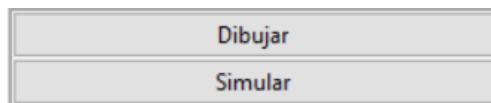
7.1.2 Desarrollo Clase Library_page (), Select_page () La clase Library_page (), configura los parámetros de los botones que aparecen en la ventana principal de trabajo, y es aquí donde se posiciona cada botón en el *frame* lateral izquierdo, a su vez cada botón llama las clases lista correspondiente dependiendo de la subcategorización principal de los elementos (actuadores, elementos de alimentación, válvulas direccionales,...).

Figura 27. Botones creados en la clase Library_page ()



En la clase Select_page (), se crean los dos botones de los estados principales, **Dibujar y Simular**.

Figura 28. Botones creados en la clase Select_page ()

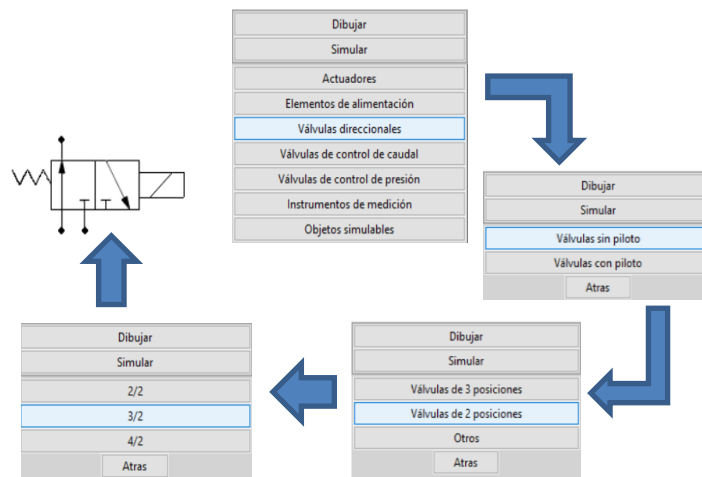


7.1.3 Desarrollo de las clases List_categorias () Para la organización estructural de los botones se decidió crear 7 clases de listas principales (Actuadores, elementos de alimentación, válvulas direccionales, válvulas de control de presión, válvulas de control de causal, instrumentos de medición, y objetos simulables) según la categoría del elemento hidráulico se categorizaba en una de estas listas. Cada clase tiene dos opciones, dibujar los elementos pertenecientes a esa lista, ó, llamar a otra clase con una sub lista.

En el anexo B “Jerarquía de la clase List_categoria ()” cada nombre en un recuadro es un botón, que abre otra lista, hasta llegar al símbolo hidráulico necesitado, ejemplo, en la lista de las válvulas direccionales (class List_VD), se abren 2 opciones (List_VDSP y List_VDCP) , que se refieren, si las válvulas tienen o no piloto respectivamente, si se escoge las válvulas sin piloto (List_VDSP) , esta abrirá

tres opciones más, válvulas de 2 posiciones (List_VDSP2p) , de tres posiciones (List_VDSP3p) y otras válvulas (List_VDSotros), al seleccionar cualquiera de estas opciones, en este caso válvulas de dos posiciones, se nos abrirá un listado de los elementos pertenecientes a la categoría. En cada lista, hay un botón con el nombre de **atrás**, con la única función de devolver a la clase lista inmediatamente anterior.

Figura 29. Ejemplo de la clase Lista para llegar a graficar un válvula direccional 3 vías dos posiciones retornado por muelle y activada por solenoide



7.2 DESARROLLO DEL MAIN_CANVAS ()

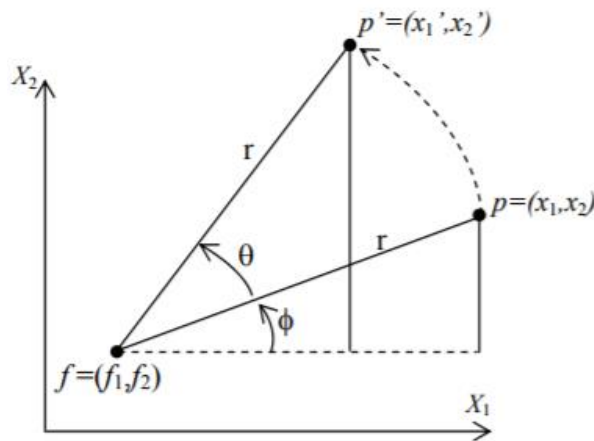
Canvases o lienzos son *widgets* versátiles. No solo lo puedes usar para dibujar objetos complejos, usar líneas, óvalos, polígonos y rectángulos, también se puede localizar imágenes y bitmaps sobre el lienzo con gran precisión. En adición a esas características puedes localizar cualquier *widget* dentro del *canvas* (tales como botones, *listboxes* y otros *widgets*) y enlazar acciones al teclado o al mouse.²⁷

²⁷ *Ibíd.* p.44.

Este código se basa principalmente en la creación del campo *canvas* o lienzo, donde cada imagen será ubicada, y se le asigna los atributos y funciones necesarias ya sea para el dibujo de circuitos hidráulicos o para la simulación de circuitos hidráulicos booleanos.

7.2.1 Desarrollo de la función rotar

Figura 30. Rotación de un punto en 2D alrededor de un punto arbitrario.



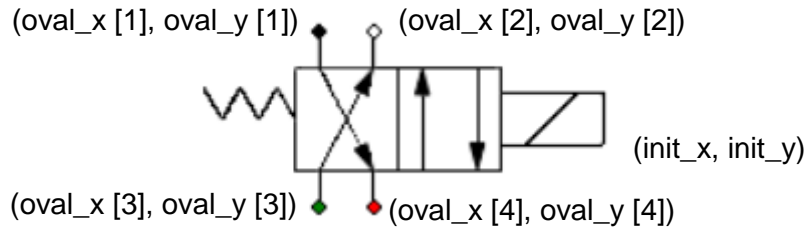
Fuentes: CATARINA Cruz Capitulo 3 [en línea] disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mcc/cruz_m_ia/capitulo3.pdf

La rotación de un punto p dado un ángulo θ , alrededor de un punto arbitrario $f = (f_1, f_2)$ en 2D se puede expresar como el producto matricial $p' = p \cdot T(-f) \cdot R(\theta) \cdot T(f)$, es decir:²⁸

$$[x1' \quad x2' \quad 1] = [x1 \quad x2 \quad 1] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -f1 & -f2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ f1 & f2 & 1 \end{bmatrix}$$

²⁸ PHYTON Capítulo 3: "Transformaciones geométricas" [en línea] [citado el 19 de Diciembre de 2017]. Disponible en : <http://docs.python.org.ar/tutorial/3/real-index.html>

Figura 31. Válvula 4/2 con los puntos oval x, y oval y, para rotar.



En este caso, los puntos a rotar son las coordenadas de los ítems circulares, oval_x y oval_y, coordenadas en las cuales se encuentran los puntos de entrada o salida del fluido, con un ángulo de rotación de 90° en sentido horario, con respecto a las coordenadas del punto medio de la figura (init_x,init_y), reemplazando estos parámetros en la Matriz anterior se obtiene:

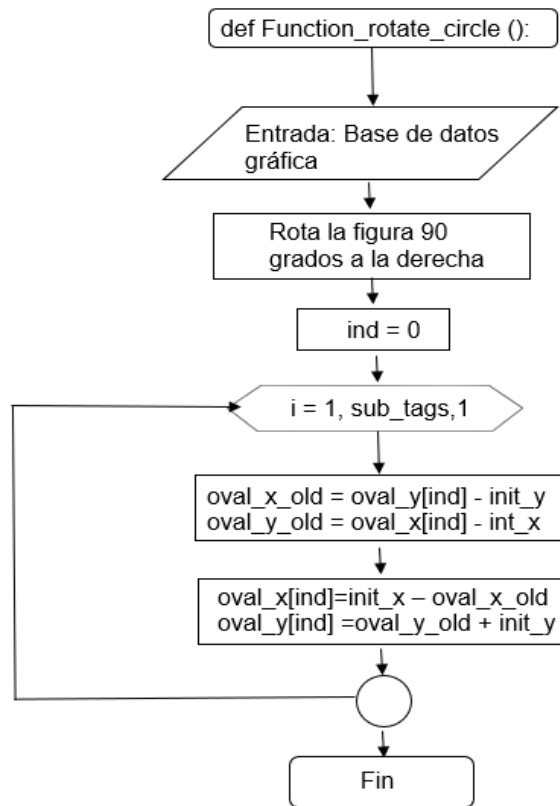
$$\begin{aligned}
 & [oval'_x \quad oval'_y \quad 1] \\
 = & [oval_x \quad oval_y \quad 1] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -init_x & -init_y & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ init_x & init_y & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Desarrollando la matriz, obtenemos:

$$\begin{aligned}
 oval'_x &= -oval_y + init_y + init_x \\
 oval'_y &= -init_x + oval_x + init_y
 \end{aligned}$$

Cabe resaltar que cada figura tendrá un número determinado de entradas y/o salidas del fluido, por eso es necesario crear un vector oval_y[ind], y oval_x [ind], que guarde esas coordenadas, el valor **ind**, indicara el número de entradas y/o salidas de cada ítem, teniendo en cuenta, esta información, el diagrama de flujo acorde a la función de rotar de cada ítem en forma general, quedara:

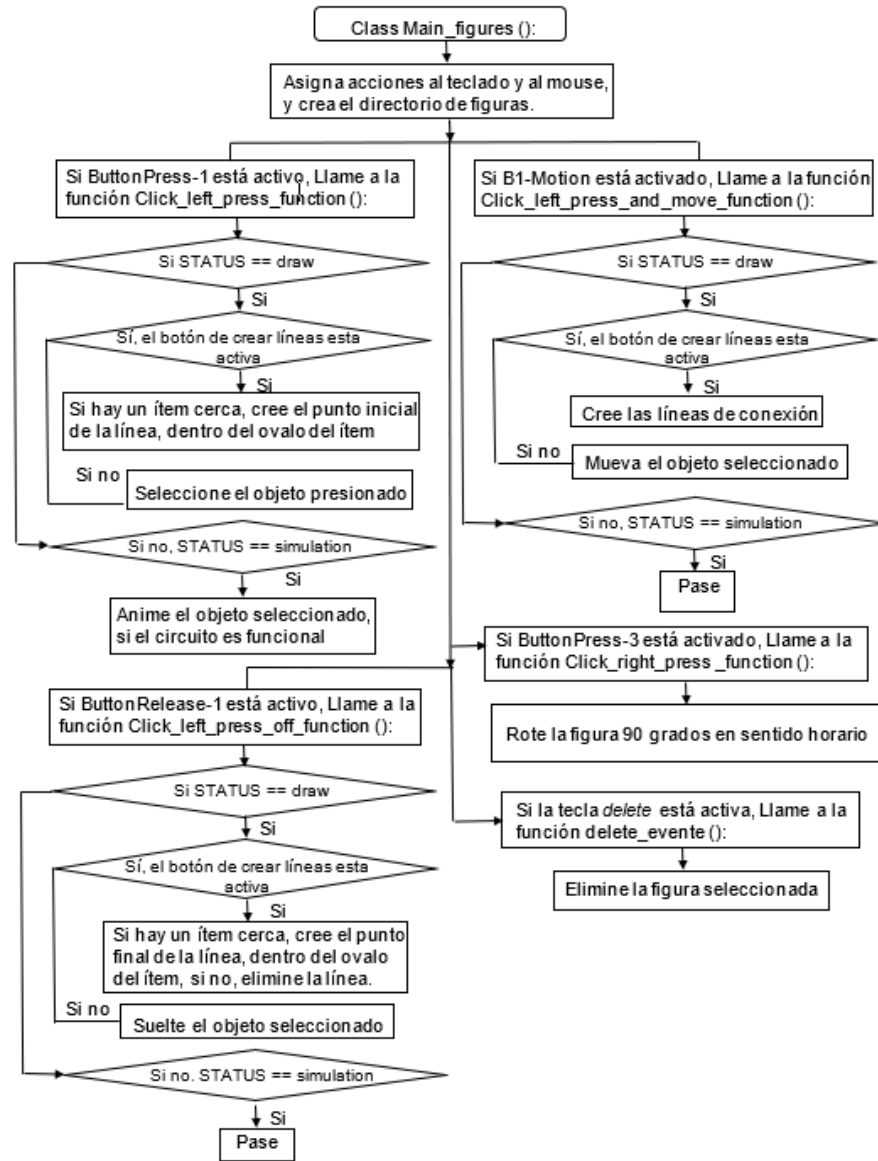
Figura 32. Función Rotar items de la figura.



7.2.2 Desarrollo de la clase `Main_figures ()`. La clase `Main_figures ()`, esta enlazada a las acciones referentes del teclado y del mouse, a su vez en esta clase se crea el directorio de toda la base de datos grafica que utiliza el programa.

Cabe resaltar que existen dos estados claves en esta parte del código, el estado *draw* (dibujar), que hace referencia cuando la barra de herramienta Dibujar esta activada, y solo se pueden realizar las líneas de trazo y mover las figuras, y el estado *simulation* (simulación), estado en el cual se verifica el circuito y se hace la respectiva simulación.

Figura 33. Diagrama de flujo class Main figures ():

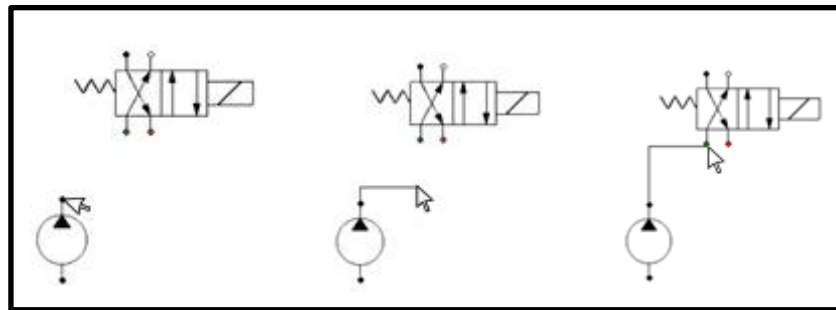


Hay cuatro eventos referentes al *mouse* y uno al teclado, los cuales van ligados a una función, que varían según cual estado está activado y que acción se está haciendo:

Caso 1: El estado dibujar esa activado y se están haciendo las líneas de conexión, los cuatro eventos del *mouse* son funcionales, primero que todo el programa analiza

si al dar clic izquierdo del mouse (*Buttonpress-1*), detecta un ítem valido (los puntos de conexión de cada elemento que están representados por un ovalo) para empezar a realizar el trazado de la línea de conexión de elementos, cuando el ítem sea seleccionado, se realiza el punto inicial de la línea, ahora, se mantiene el clic izquierdo del mouse y se mueve el *mouse* (*B1-Motion*) para crear una línea de una extensión finita, esta extensión viene dada por la tercera acción, cuando el clic izquierdo del mouse se suelta(*ButtonRealese-1*), si esta acción sucede cerca de un ítem valido, la línea se crea, si no es el caso, la línea se borra. La cuarta acción se relaciona con el clic derecho del mouse (*Buttonpress-3*), y solo corresponde para rotar la figura 90° en sentido horario. En este caso el evento del teclado no es funcional y no se pueden eliminar objetos.

Figura 34. Secuencia para crear una línea.



Caso 2: El estado dibujar esa activado y se están seleccionando objetos. Los cuatro eventos del *mouse* son funcionales, primero que todo el programa analiza si al dar clic izquierdo del mouse (*Buttonpress-1*), detecta un objeto (Todos los elementos del circuito hidráulico que se está dibujando, incluyendo sus líneas de conexión) y lo selecciona. Si se mantiene el clic izquierdo del *mouse* y se mueve el *mouse* (*B1-Motion*) el objeto se moverá junto con este, cuando el clic izquierdo del mouse se suelta (*ButtonRealese-1*), el objeto deja de moverse y queda en la posición asignada. La cuarta acción se relaciona con el clic derecho del mouse (*Buttonpress-3*), y solo corresponde para rotar la figura 90° en sentido horario. En este caso el

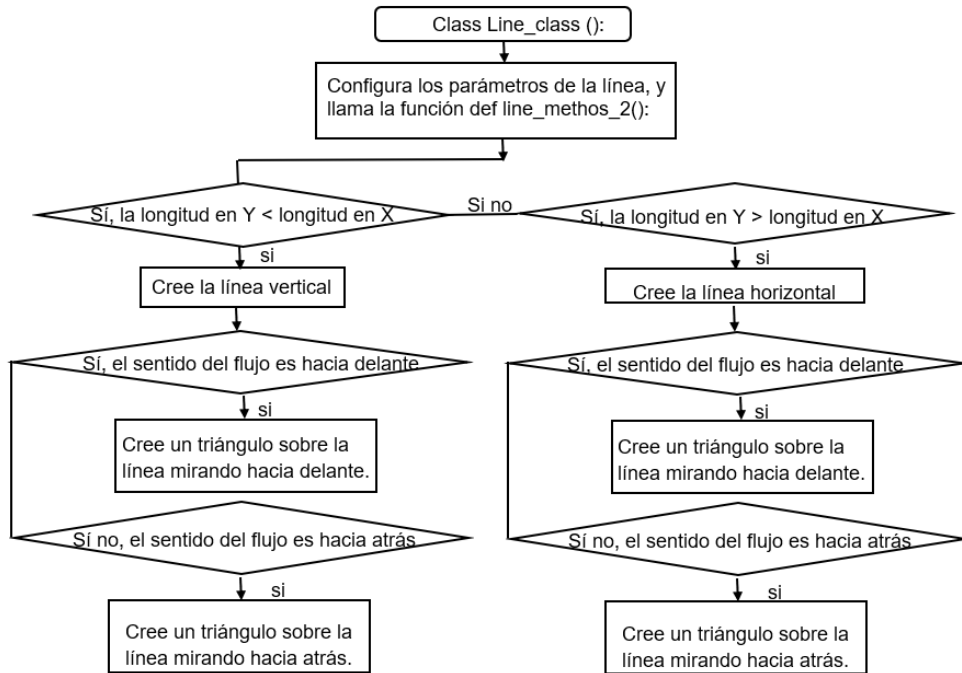
evento del teclado es funcional y se pueden eliminar objetos al teclear la tecla suprimir, el objeto que se elimina es el último objeto seleccionado.

Caso 5: Si el estado simular está activado y se está oprime la tecla de simular el circuito, las válvulas direccionales válidas para la simulación cambiaran de posición al oprimir el clic izquierdo del *mouse* (Buttonpress-1) sobre ellas, y se efectuara la lógica del circuito solo si esta es válida.

7.2.3 Desarrollo clase Line_class () La clase Line_class (), esta enlazada a las configuraciones, atributos y parámetros de las líneas de conexión, el grosor, color y estilo de la línea son definidos en esta clase. Esta clase tiene una función interna que examina el punto inicial (x1, y1) y el punto final (x2, y2) en el cual la línea fue creada, hace una respetiva diferencia de sus posiciones (x2-x1, y2-y1), dependiendo del resultado, definirá si la posición de la línea es horizontal o vertical.

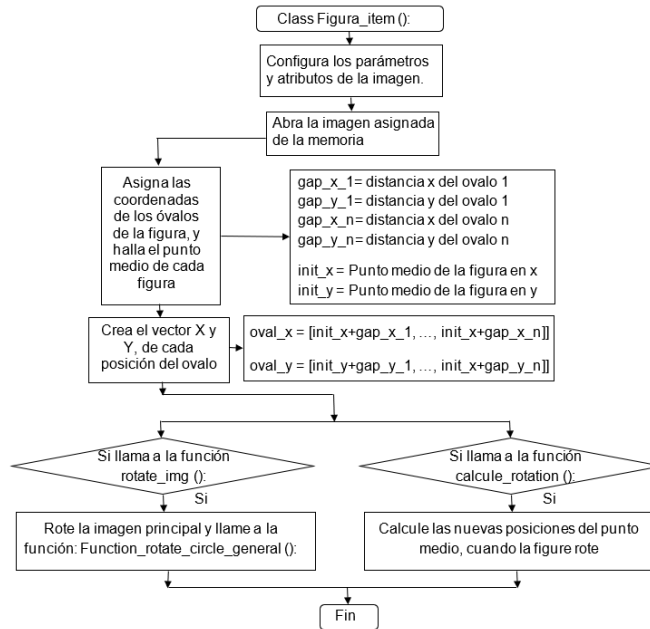
Seguido a esto se analiza en qué dirección va el flujo si hay animación, si el flujo va hacia adelante, se dibujará un triángulo sobre la línea apuntando en esa dirección, caso contrario la dirección del triángulo será lo opuesto.

Figura 35. Diagrama de flujo de Class Line_class ()



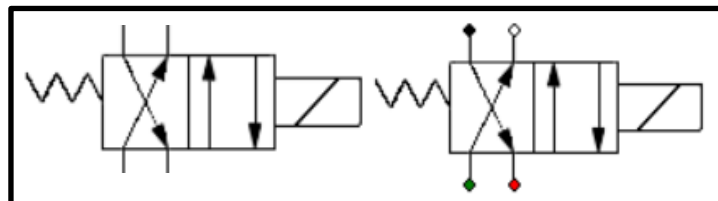
7.2.4 Desarrollo general de cada clase, para la creación de los ítems, OBJETO_item() En la clase OBJETO_item (), hace referencia por objeto al nombre de cada símbolo hidráulico del sistema, descritos en el anexo A, es decir hay n clases por n símbolos hidráulicos en la base de datos gráfica, en esta parte del capítulo solo se abarcará sobre las funciones correspondientes al ámbito gráfico, que varían según el número de óvalos a colocar, que son determinados por el número de entradas y salidas del fluido del componente. Las funciones dedicadas a la simulación se observan en el capítulo 8.

Figura 36. Diagrama de flujo class OBJETO_item():



Inicialmente la imagen es cargada de la memoria del equipo como un archivo png, formato compatible con el lenguaje *Python*. Imagen a la cual se le asigna un número determinado de óvalos, óvalos los cuales son ubicados mediante coordenadas cartesianas, el fin de crear estos óvalos en el ítem, es poder vincular los elementos entre sí por ese punto de unión. Como los óvalos y el objeto deben rotar en sincronía dentro de esa clase se llama inicialmente la función rotar, función a la cual rota la imagen cargada del sistema y llama a una función interna del código *Function_rotate_circle_general ()*: descrita anteriormente. Cuando la imagen ha sido rotada, este llama la función *calcule_positions ()*, función que calcula la nueva coordenada del punto medio, para seguir realizando la rotación.

Figura 37. Antes y después de crear los óvalos.



8. LOGICA BOOLEANA

El control digital, y en particular el binario, está presente en todos los campos de la vida, desde los sistemas de refrigeración hasta los complejos sistemas de control de vuelo. Aunque los circuitos electrónicos de estos sistemas pueden tener niveles de complejidad muy diferentes, todos se basan en combinaciones de elementos más pequeños llamados puertas lógicas, en el caso de una válvula hidráulica sólo pueda estar ABIERTA o CERRADA, Para representar estos dos estados se usan los símbolos '0' y '1'. Generalmente, el '1' se asociará al estado de conmutador CERRADO, ENCENDIDO, VERDADERO, y el '0' se asocia al estado de conmutador ABIERTO, APAGADO o FALSO.²⁹

8.1 PUERTAS LÓGICAS ELEMENTALES

Una puerta lógica es un elemento que toma una o más señales binarias de entrada y produce una salida binaria función de estas entradas. Cada puerta lógica se representa mediante un símbolo lógico. Hay tres tipos elementales de puertas: AND, OR y NOT. A partir de ellas se pueden construir otras más complejas, como las puertas: NAND, NOR y XOR.³⁰ En el desarrollo de este proyecto las señales binarias de entrada son la conmutación de los estados de las válvulas direccionales, y las señales de salida es el movimiento del cilindro de doble efecto, que mediante operaciones algebraicas de carácter booleano decide cual es la mejor acción para tomar.

²⁹Álgebra de Boole lógica combinacional. 1. p

³⁰ Ibíd. 2. p

- **Puerta AND:** Para una puerta AND el valor es 1 (Verdadero), si la multiplicación lógica binaria entre los valores de entrada es 1, se escribe: $Salida=Entrada1*Entrada2*...*EntradaN$.
- **Puerta OR:** Para una puerta OR el valor es 1 (Verdadero), si al menos uno de los valores de entrada es verdadero, se escribe: $Salida=Entrada1+Entrada2+...+EntradaN$.
- **Puerta NOT:** Solo tiene un valor de entrada y es conocida también como inversor, la salida es viceversa a la entrada, se escribe: $Salida=Entrada$

8.2 FUNCIONES BOOLEANAS

Cada salida de un sistema digital de combinación puede describirse por una función booleana de sus variables de entrada. Es decir, las salidas de una red combinacional dependen solamente de sus entradas. Dicho esto, una **función** booleana de n variables $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ es un mapeo o correspondencia que asocia un valor booleano a **f**, con cada una de las posibles combinaciones de valores que pueden tomar las variables.³¹ Una función puede ser descrita por una expresión, ejemplo:

$$f(A, B, C) = AC + B'C + AA' \quad (8.1)$$

Esta función puede evaluarse para diferentes combinaciones de valores dadas por las variables. En este caso ejemplo se presenta la solución de la función con los siguientes valores, A=0, B=1 y C=0:

$$f(0,1,0) = 0 * 0 + 1' * 0 + 0 * 0'$$

$$f(0,1,0) = 0 + 0 * 0 + 0 * 1$$

$$f(0,1,0) = \mathbf{0}$$

³¹SILVA BIJIT, Leopoldo. Funciones Booleanas. 1. p

Como se evidencia existen infinitas representaciones equivalentes de una función a través de expresiones, lo cual conlleva al problema de **síntesis lógica** que consiste en encontrar la “mejor” expresión para representar una función.³²

Para este tipo de problema, está la **tabla de verdad**, la cual permite expresar una función booleana en una tabla, donde al lado izquierdo se presentan todas las posibles combinaciones de valores de las variables de la función, y la columna al lado derecho, representa la salida de la expresión. Por ejemplo, para la expresión (8.1):

Tabla 5. Tabla de verdad de $AC+B'C+AA'$

A	B	C	F
0	0	0	0
1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	1
1	1	0	0
0	1	1	0
1	1	1	1

Cuando hay más de 5 variables en la expresión, la tabla de verdad ya no es versátil, debido a que el número de filas está dado por la función 2^n , donde n son las variables en la expresión, en este caso donde las variables sean mayores de 5 es recomendable usar los mapas de Karnaugh

El **mapa de Karnaugh** es un método gráfico de representación que se encuentra en la tabla de verdad. Permite simplificar una función booleana de manera sencilla. En un mapa de Karnaugh cada combinación posible de entradas está representada

³²SILVA BIJIT, Leopoldo. Funciones Booleanas. .3. p

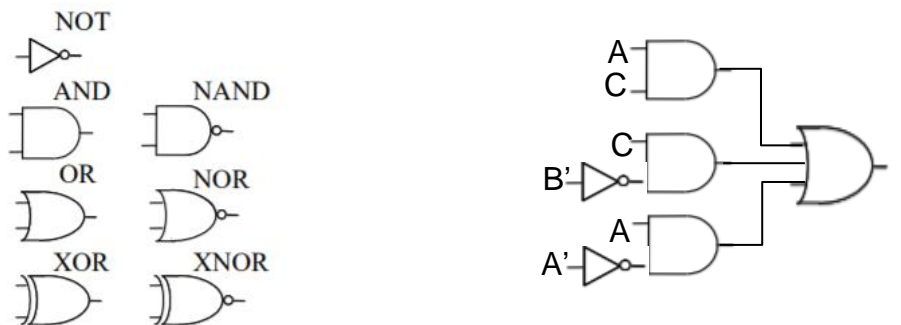
por una caja dentro de una rejilla, y el valor correspondiente de la salida se escribe dentro de la caja³³, siguiendo el ejemplo para la expresión 8.1, se obtiene:

Tabla 6. Mapa de Karnaugh de $AC+B'C+AA'$

		BC			
		00	01	11	10
A	0	0	1	0	0
	1	0	1	1	0

Otra forma de especificar una expresión booleana es emplear símbolos estandarizados que describen una compuerta lógica para diseñar un diagrama lógico, siguiendo con el ejemplo para la expresión 8.1, se obtiene:

Figura 38. Símbolos estandarizados de compuertas lógicas y diagrama lógico de $AC+B'C+AA'$



Fuente: SILVA BIJIT, Leopoldo. Funciones Booleanas. .4. p

8.3 TEOREMAS BOOLEANOS

En los párrafos 8.1 **compuertas lógicas elementales** y 8.2 **funciones booleanas**, se explicó que es y cómo se generan las expresiones booleanas para describir una función, especificada en una tabla de verdad, en un mapa de

³³ Álgebra de Boole lógica combinacional. 10. p

Karnaugh, y en un diagrama lógico, estas expresiones no siempre son las mas sencillas. El algebra de Boole define varios teoremas para simplificar dichas expresiones.³⁴

Ley conmutativa	$AB = BA$
Ley distributiva	$A + B = B + A$
Ley asociativa	$A(B + C) = AB + AC$
Ley de la absorción	$A + AB = A$ $A(A+B) = A$
Ley DeMorgan	$f'(X1, X2, \dots, Xn, 0, 1, +, *) = f(X1', X2', \dots, Xn', 1, 0, *, +)$
Operación suma lógica (OR)	El resultado es "1" si alguno de los sumandos es "1" $1 + A = 1$ $0 + A = A$ $A + A = A$
Operación producto lógico (AND)	El resultado es "0" si alguno de los elementos es "0" $1 * A = A$ $0 * A = 0$ $A * A = A$
Operación negación (NOT)	El resultado es el contrario a la entrada del elemento $1' = 0$ $0' = 1$

8.4 APLICACIÓN DE LA LOGICA BOOLEANA AL PROYECTO

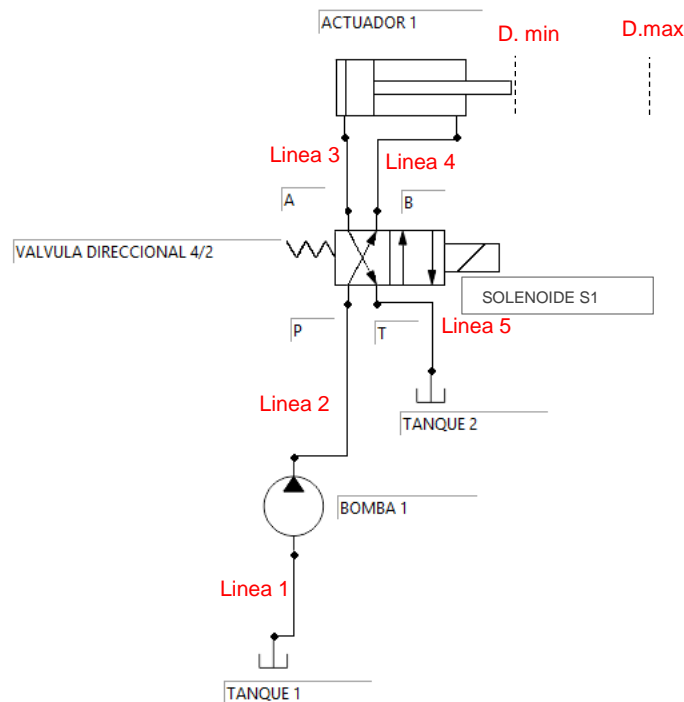
En el desarrollo de este proyecto las señales binarias de entrada son la conmutación de los estados de las válvulas direccionales, y las señales de salida es el movimiento del cilindro de doble efecto, que mediante operaciones algebraicas de carácter booleano decide cual es la mejor acción para tomar.

³⁴ Álgebra de Boole lógica combinacional. 6. p

Inicialmente el circuito mediante un arreglo matricial analiza cómo están conectadas las líneas y a que elemento hidráulico están conectadas, para así analizar que el circuito planteado inicialmente está conectado correctamente, y proseguir con las mejores acciones a tomar, esto se va a ejemplificar con el siguiente ejemplo.

Ejemplo 1: Se desea que el actuador salga cuando un pulsador este activado y que se devuelva cuando el pulsador deje de estar activado

Figura 39. Circuito ejemplo 1



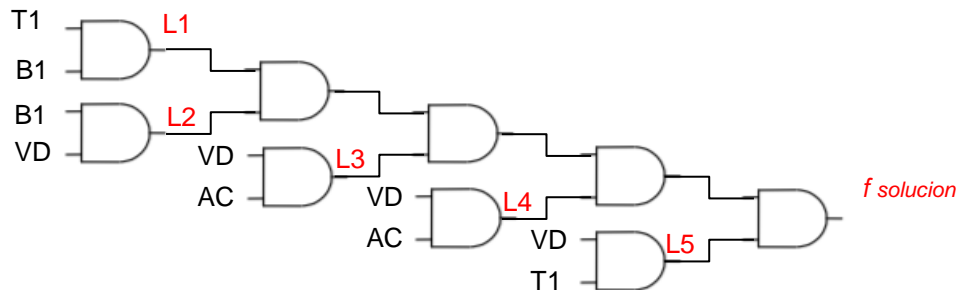
La tabla de verdad del arreglo entre las líneas como la salida resultante y los elementos hidráulicos como las variables de entrada, que representa el circuito de la **figura 37**, es producida por el programa CAD en base de una comparación iterativa en cada nodo de los elementos hidráulicos y con base en esto, se crea la expresión booleana característica de cada línea, como se muestra a continuación:

Tabla 7. Tabla de la verdad de las líneas del circuito hidráulico ejemplo 1

TANQUE 1 (T1)	BOMBA 1 (B1)	VALVULA 4/2 (VD)	ACTUADOR 1 (AC)	TANQUE 2 (T2)	LINEA 1 (L1)	LINEA 2 (L2)	LINEA 3 (L3)	LINEA 4 (L4)	LINEA 5 (L5)	FUNCION BOOLEANA
1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	L1 = T1 B1
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	L2= B1 VD
0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	L3 = VD AC
0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	L4 = VD AC
0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	L5 = VD T2

Con esta tabla de verdad se obtiene la expresión booleana de cada línea del circuito hidráulico, ahora el paso a seguir es aplicar una operación producto lógico entre cada línea, donde si la señal de salida es “1” el circuito esta correctamente armado, si es diferente de “1” ósea “0”, el circuito no se puede simular, quedando la función booleana en este caso ejemplo como:

Figura 40. Diagrama lógico de la solución del circuito ejemplo 1



$$f_{solucion}(T1, B1, VD, AC, T2) = L1 * L2 * L3 * L4 * L5 \quad (8.2)$$

Con la expresión booleana $f_{solucion}(T1, B1, VD, AC, T2) = L1 * L2 * L3 * L4 * L5$, se determina si el circuito es apto o no para ser simulado, si el circuito es apto para ser simulado, se procede con la lógica booleana al conmutar los solenoides de las válvulas direccionales.

Para realizar la acción lógica requerida del circuito ejemplo 1 al conmutar los solenoides de la válvula 4/2 de la **figura 37**, en el programa *CAD* realizado se simula la activación del solenoide S1 con un clic izquierdo sobre la válvula direccional 4/2, al estar S1 energizado el vástago del cilindro de doble efecto se moverá hasta la posición **D. max** el cual es el punto máximo alcanzado por el actuador, hasta que se desenergice el solenoide S1 con otro clic izquierdo sobre la válvula direccional, el vástago del actuador se moverá a su posición inicial en **D. min**. El diagrama de espacio fase y el diagrama de mando respectivo es:

Figura 41. Diagrama de espacio fase y diagrama de mando del circuito ejemplo 1

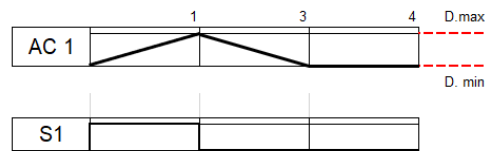
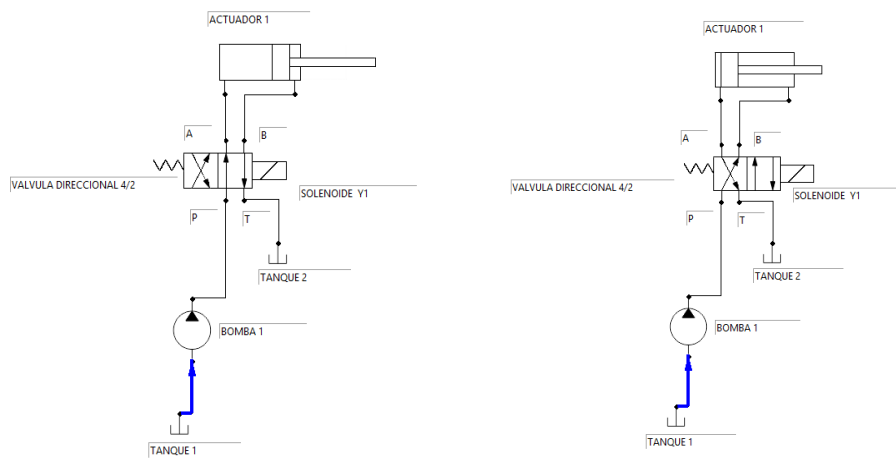


Figura 42. Circuito ejemplo 1 al activarse el solenoide S1, y al desactivarse el solenoide S1



Desarrollando la tabla de verdad en base al diagrama de fase y al diagrama de control del circuito ejemplo 1 se obtiene:

Tabla 8. Tabla de verdad del circuito ejemplo 1 con la conmutación del solenoide de la válvula 4/2

S1	D min	D max	AC+	AC-
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
0	1	0	0	0
0	0	1	0	1
1	1	0	1	0
0	1	1	0	0
1	0	1	0	0
1	1	1	0	0

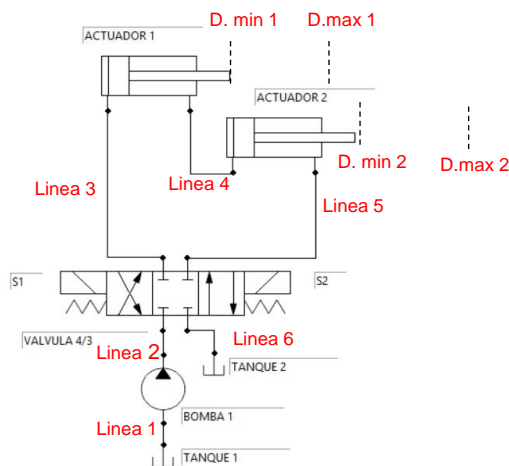
Donde la expresión booleana que soluciona el desplazamiento del vástago, donde A+ hace referencia el desplazamiento del vástago a la derecha, y A- el desplazamiento del vástago a la izquierda, para el circuito ejemplo 1, es:

$$f_{A+}(S1, Dmin, Dmax) = (S1 Dmin Dmax')$$
 (8.3)

$$f_{A-}(S1, Dmin, Dmax) = (S1' Dmin' Dmax)$$
 (8.4)

Ejemplo 2: Se desea que el actuador 1 y el actuador 2 salgan cuando el solenoide S1 de la válvula direccional 4/3 este activado y que se devuelvan cuando el solenoide S2 de la válvula 4/3 este activado.

Figura 43. Circuito ejemplo 2



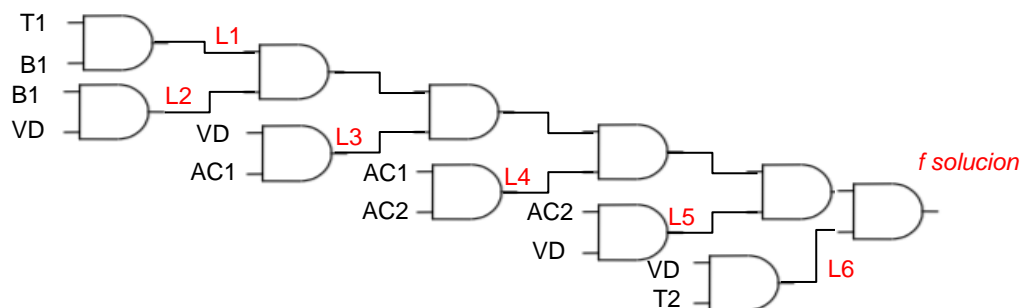
La tabla de verdad del arreglo entre las líneas como la salida resultante y los elementos hidráulicos como las variables de entrada, que representa el circuito de la **figura 41**, es producida por el programa CAD en base de una comparación iterativa en cada nodo de los elementos hidráulicos y con base en esto, se crea la expresión booleana característica de cada línea, como se muestra a continuación:

Tabla 9. Tabla de la verdad de las líneas del circuito hidráulico ejemplo 2

TANQUE 1 (T1)	BOMBA 1 (B1)	VALVULA 4/3 (VD)	ACTUADOR 1 (AC 1)	ACTUADOR 2 (AC 2)	TANQUE 2 (T2)	LINEA 1 (L1)	LINEA 2 (L2)	LINEA 3 (L3)	LINEA 4 (L4)	LINEA 5 (L5)	LINEA 6 (L6)	FUNCION BOOLEANA
1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	L1 = T1 B1
0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	L2= B1 VD
0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	L3 = VD AC1
0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	L4 = AC1 AC2
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	L5 = AC1 VD
0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	L6 = VD T2

Con esta tabla de verdad se obtiene la expresión booleana de cada línea del circuito hidráulico, ahora el paso a seguir es aplicar una operación producto lógico entre cada línea, donde si la señal de salida es “1” el circuito esta correctamente armado, si es diferente de “1” ósea “0”, el circuito no se puede simular, quedando la función booleana en este caso ejemplo como:

Figura 44. Diagrama lógico de la solución del circuito ejemplo 2



$$f_{solucion}(T1, B1, VD, AC1, AC2, T2) = L1 * L2 * L3 * L4 * L5 * L6 \quad (8.5)$$

Con la expresión booleana $f_{solucion}(T1, B1, VD, AC1, AC2, T2) = L1 * L2 * L3 * L4 * L5 * L6$, se determina si el circuito es apto o no para ser simulado, si el circuito es apto para ser simulado, se procede con la lógica booleana al conmutar los solenoides de las válvulas direccionales.

Para realizar la acción lógica requerida del circuito ejemplo 2 al conmutar los solenoides de la válvula 4/3 de la **figura 41**, en el programa CAD realizado se simula la activación del solenoide S1 con un clic izquierdo sobre la válvula direccional 4/3, al estar S1 energizado ambos actuadores de cilindro de doble efecto se moverán a la misma vez hasta la posición **D. max** el cual es el punto máximo alcanzado por el vástago, hasta que se energice el solenoide S2 con otro clic izquierdo sobre la válvula direccional, ambos actuadores desplazaran el vástago a su posición inicial en **D. min**. Si ambos solenoides S1 y S2 están des energizados el circuito estará en la posición inicial. El diagrama de espacio fase y el diagrama de mando respectivo es:

Figura 45. Diagrama de espacio fase y diagrama de mando del circuito ejemplo 2

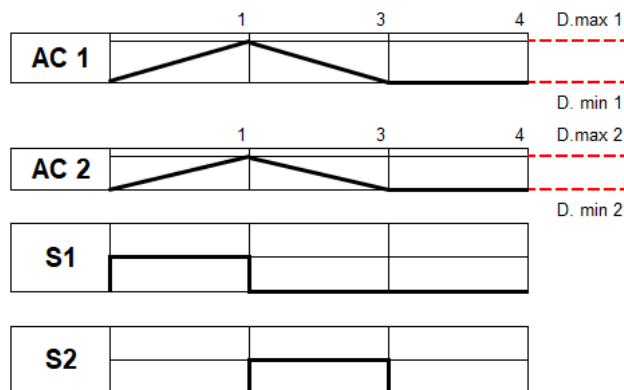
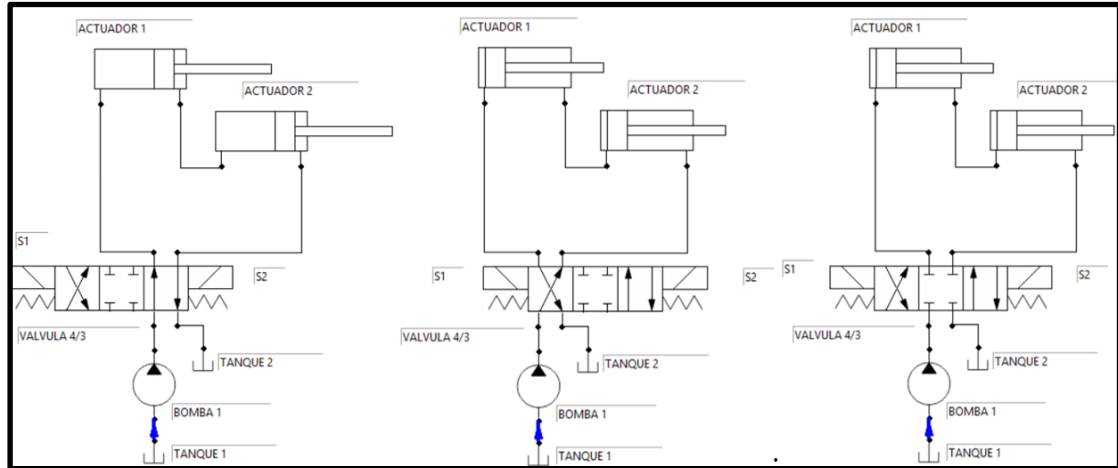


Figura 46. Circuito ejemplo 2 al energizarse el solenoide S1, al des energizarse el solenoide S1 y energizarse el solenoide S2, y ambos solenoides S1 y S2 des energizados



Desarrollando el mapa de Karnaugh en base al diagrama de fase y al diagrama de control del circuito ejemplo 2 se obtiene:

Figura 47. Mapa de Karnaugh del circuito ejemplo 2 con la conmutación de los solenoides S1 y S2 de la válvula 4/3

		D max 1 Dmin1				Dmax2=0				Dmax2 = 1					
		S1 S2		00	01	11	10	S1 S2		00	01	11	10	S1 S2	
Dmin2 = 0	00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
	01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	AC-
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Dmin2 = 1	00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00
	01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	01
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
	10	0	0	AC+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
		S1 S2		00	01	11	10	S1 S2		00	01	11	10	S1 S2	
		D max 1 Dmin1						D max1 Dmin1							

Donde la mejor expresión booleana que soluciona el desplazamiento del vástago, donde AC1+, y AC2+ hace referencia el desplazamiento del vástago a la derecha, y AC1-, y AC2- el desplazamiento del vástago a la izquierda, para el circuito ejemplo 2, es:

$$f_{AC1+}(S1, S2, Dmin1, Dmax1, Dmin2, Dmax2) = (S1 S2' Dmin1 Dmax1' Dmin2 Dmax2') \quad (8.6)$$

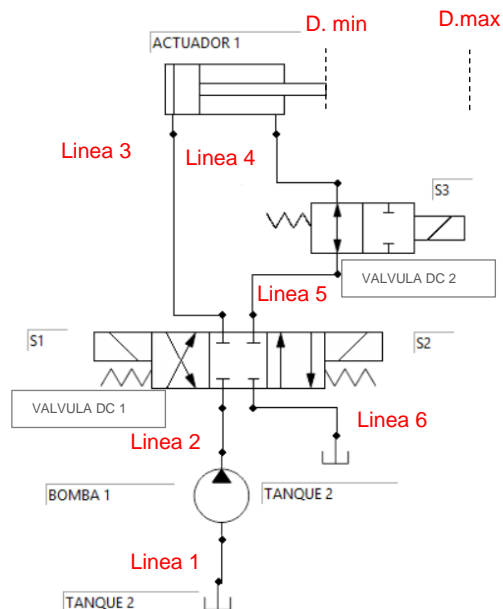
$$f_{AC1-}(S1, S2, Dmin1, Dmax1, Dmin2, Dmax2) = (S2 S1' Dmax1 Dmin1' Dmax2 Dmin2') \quad (8.7)$$

$$f_{AC2+}(S1, S2, Dmin1, Dmax1, Dmin2, Dmax2) = (S1 S2' Dmin1 Dmax1' Dmin2 Dmax2') \quad (8.8)$$

$$f_{AC2-}(S1, S2, Dmin1, Dmax1, Dmin2, Dmax2) = (S2 S1' Dmax1 Dmin1' Dmax2 Dmin2') \quad (8.9)$$

Ejemplo 3: Se desea que el actuador salga cuando el solenoide S1 de la válvula direccional 4/3 este activado y que se devuelvan cuando el solenoide S2 de la válvula 4/3 este activado, y se detenga en cualquier instante solo al activarse el solenoide S3.

Figura 48. Circuito ejemplo 3



La tabla de verdad del arreglo entre las líneas como la salida resultante y los elementos hidráulicos como las variables de entrada, que representa el circuito de la **figura 46**, es producida por el programa CAD en base de una comparación

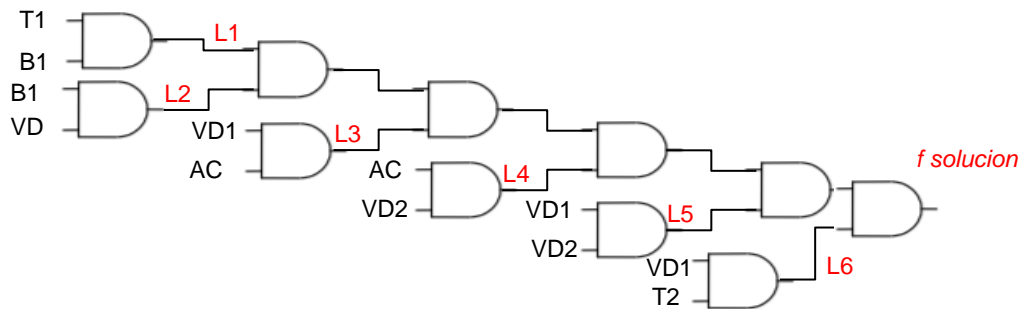
iterativa en cada nodo de los elementos hidráulicos y con base en esto, se crea la expresión booleana característica de cada línea, como se muestra a continuación:

Tabla 10. Tabla de la verdad de las líneas del circuito hidráulico ejemplo 3

TANQUE 1 (T1)	BOMBA 1 (B1)	VALVULA 4/3 (VD1)	ACTUADOR 1 (AC)	VALVULA 2/2 (VD2)	TANQUE 2 (T2)	LINEA 1 (L1)	LINEA 2 (L2)	LINEA 3 (L3)	LINEA 4 (L4)	LINEA 5 (L5)	LINEA 6 (L6)	FUNCION BOOLEANA
1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	L1 = T1 B1
0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	L2= B1 VD1
0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	L3 = VD1 AC
0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	L4 = AC VD2
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	L5 = VD1 VD2
0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	L6 = VD2 T2

Con esta tabla de verdad se obtiene la expresión booleana de cada línea del circuito hidráulico, ahora el paso a seguir es aplicar una operación producto lógico entre cada línea, donde si la señal de salida es “1” el circuito esta correctamente armado, si es diferente de “1” ósea “0”, el circuito no se puede simular, quedando la función booleana en este caso ejemplo como:

Figura 49. Diagrama lógico de la solución del circuito ejemplo 3



$$f_{solucion}(T1, B1, VD, AC1, AC2, T2) = L1 * L2 * L3 * L4 * L5 * L6 \quad (8.10)$$

Con la expresión booleana $f_{solucion}(T1, B1, VD, AC1, AC2, T2) = L1 * L2 * L3 * L4 * L5 * L6$, se determina si el circuito es apto o no para ser simulado, si el circuito es apto para ser simulado, se procede con la lógica booleana al conmutar los solenoides de las válvulas direccionales.

Para realizar la acción lógica requerida del circuito ejemplo 3 al conmutar los solenoides de la válvula 4/3 de la **figura 46**, en el programa *CAD* realizado se simula la activación del solenoide S1 con un clic izquierdo sobre la válvula direccional 4/2, al estar S1 energizado el actuador de cilindro de doble efecto se moverá a la derecha hasta la posición **D. max** el cual es el punto máximo alcanzado por el vástago, hasta que se energice el solenoide S2 con otro clic izquierdo sobre la válvula direccional 4/3, el vástago se desplazara a su posición inicial en **D. min**. Si el solenoide S3 es activado en cualquier trayecto el vástago detiene su movimiento hasta que el solenoide S3 este des energizado nuevamente. El diagrama de espacio fase y el diagrama de mando respectivo es:

Figura 50. Diagrama de espacio fase y diagrama de mando del circuito ejemplo 3

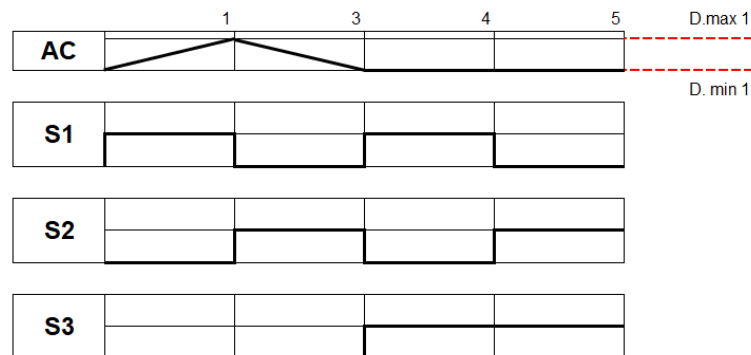


Figura 51. Circuito ejemplo 3 al energizarse el solenoide S1, al des energizarse el solenoide S1 y energizarse el solenoide S2, y sin energizar el solenoide S3

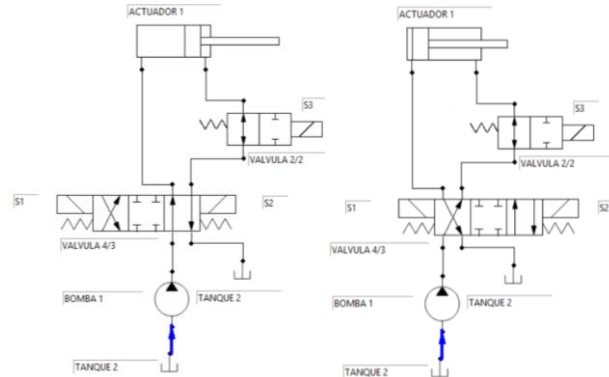
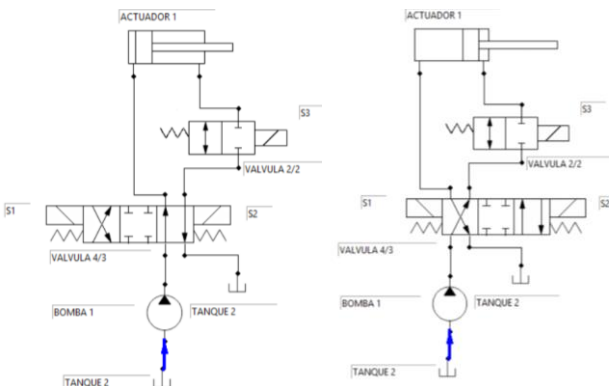


Figura 52. Circuito ejemplo 3 al energizarse el solenoide S1, al des energizarse el solenoide S1 y energizarse el solenoide S2, y energizando el solenoide S3



Desarrollando el mapa de Karnaugh en base al diagrama de fase y al diagrama de control del circuito ejemplo 3 se obtiene:

Figura 53 Mapa de Karnaugh del circuito ejemplo 3 con la conmutación de los solenoides S1, y S2 de la válvula 4/3, y el solenoide S3 de la válvula 2/2

		D max Dmin					
		0 0	0 1	1 1	1 0		
S3 = 0	S1 S2	0 0	0 0	0 0	0 0		
	S1 S2	0 1	0 0	0 0	AC-		
	S1 S2	1 1	0 0	0 0	0 0		
	S1 S2	1 0	0 AC+	0 0	0 0		

		D max Dmin					
		0 0	0 1	1 1	1 0		
S3 = 1	S1 S2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	
	S1 S2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 1	
	S1 S2	0 0	0 0	0 0	0 0	1 1	
	S1 S2	0 0	0 0	0 0	0 0	1 0	

Donde la mejor expresión booleana que soluciona el desplazamiento del vástago, donde AC+ hace referencia el desplazamiento del vástago a la derecha, y AC- el desplazamiento del vástago a la izquierda, para el circuito ejemplo 3, es:

$$f_{AC+}(S1, S2, S3, Dmin, Dmax) = (S1 S2' S3 Dmin Dmax') \quad (8.11)$$

$$f_{AC-}(S1, S2, S3, Dmin, Dmax) = (S1' S2 S3 Dmin' Dmax) \quad (8.11)$$

9. SIMULACIÓN

En este capítulo abarca las funciones de animación y simulación, presentes en las clases OBJETO_item (): se explica la lógica y respectiva animación de cada clase, estas dos funciones solo la tienen los símbolos hidráulicos validos en el botón “Objetos simulables”, los cuales son; Bomba hidráulica fija de una dirección, cilindro de simple efecto, válvula direccional 2 vías 2 posiciones, válvula direccional 3 vías 2 posiciones, válvula direccional 4 vías 2 posiciones, válvula direccional 4 vías 3 posiciones centro cerrado, válvula de descarga y tanque.

En el desarrollo booleano del proyecto se basó en buscar las mejores expresiones algebraicas que describan el comando lógico de la operación según la conmutación de los solenoides de las válvulas direccionales, y se les dieron parámetros especiales a los elementos hidráulicos anteriormente mencionados, en la lógica general, el programa empieza de aguas para arriba, inicialmente busca donde se encuentra la bomba, y si esta está conectada correctamente, en tal caso de que esta esté bien, el programa sigue examinado el camino del fluido hasta depositarse en un tanque, el programa está diseñado para que sea un programa escalable, es decir esta versión es la base para que se le efectúen las mejoras con el paso del tiempo, en esta versión 1, solo se puede conectar en un mismo nodo, no más de 2 elementos (no puede haber desviaciones por la misma línea), y solo es funcional con los elementos hidráulicos ya mencionados.

9.1 CLASE BOMBA_ITEM ():

La bomba como elemento hidráulico es el equipo por el cual se ingresa energía para que pueda efectuar un trabajo mecánico el cual consiste en transportar cierta

cantidad de fluido con ciertos parámetros estipulados (presión, caudal, entre otros). En el desarrollo del proyecto, esta se le atribuyó las siguientes pautas:

- Solo puede bombear el fluido en una dirección, según indique este (unidireccional).
- Está conectada a un tanque de suministro del aceite hidráulico siempre.
- Solo va a tener un suministro de entrada, conectada siempre a tanque, y el punto de salida solo puede ir con los otros equipos hidráulicos ya antes mencionados en el párrafo 8. (solo cuando se desee simular)
- Solo existe una excepción a la regla de tener más de dos dispositivos conectados entre sí, y es cuando se tiene el arreglo válvula de descarga, bomba y válvula direccional, el nodo de salida de la bomba ira conectado a dos elementos (a la entrada de la válvula direccional y a la entrada de la válvula de descarga).

Esta función para poder correr la lógica sigue las siguientes etapas:

1. Se evalúa inicialmente, con cuantos elementos está conectado y si ya fue activado el estado de simulación, si solo está conectado con un elemento por nodo y el estado de simulación es verdadera, continua, si no para.
2. A continuación, evalúa su sentido de flujo y la compara con el que este tiene por defecto, si es así continua, si no para.
3. El tercer paso es verificar si el punto de entrada de la bomba está conectado con el tanque, en caso de ser afirmativo, continúa si no para.
4. El caso especial es cuando la bomba está conectada a la válvula de descarga, solo si está el arreglo bomba-válvula direccional-válvula de descarga, es funcional. (Ver ANEXO C. Manual de usuario de fluid power).
5. Cuando los pasos 1,2 y 3 estén correctos, continua y examina al siguiente elemento hidráulico conectado inmediatamente después, y si alguno falla para inmediatamente y muestra el error.

9.2 CLASE ACTUADOR_ITEM ():

En esta clase se le aplica la lógica al actuador “cilindro de doble efecto”, que es el elemento el cual va a hacer un trabajo mediante el desplazamiento de un vástago gracias a la presión del fluido en movimiento, para la lógica del cilindro de doble efecto se tuvo en cuenta:

- Los nodos de conexión del cilindro deben estar unidos a solo un elemento hidráulico, es decir no puede haber nodos sin conexión.
- La dirección del fluido, puesto que este es el que indicara en qué sentido se desplazara el vástago (sí se contrae o se expande).
- El cilindro de doble efecto tiene dos posiciones *forward* (hacia adelante) y *backward* (hacia atrás), por defecto se encontrará en la segunda posición.

Los pasos que siguen la función simular dentro de esta clase son las siguientes:

1. Inicialmente la función examina si cada nodo esta efectivamente conectado a otro elemento, si es así, continúa al siguiente paso.
2. Ahora evalúa en qué posición está el vástago, si esta desplazada a la derecha o a la izquierda, dependiendo de la posición y el sentido de fluido el vástago se desplazara:
 - Opción 1: (si el vástago está en la posición hacia atrás):
 - a) Si el fluido viene hacia la derecha, el vástago no se moverá.
 - b) Si el fluido viene a la izquierda, el vástago se mueve junto con el fluido.
 - Opción 2: (si está en la posición hacia adelante):
 - a) Si el fluido viene hacia la derecha, el vástago se mueve junto con el fluido.
 - b) Si el fluido viene a la izquierda, el vástago no se moverá.
3. Cuando los pasos 1 y 2 se den, simule, en caso contrario muestre el error.

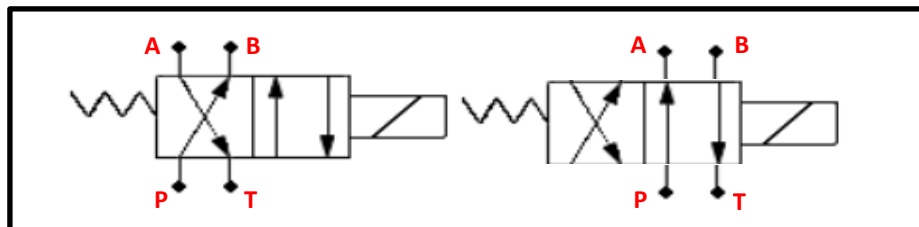
9.3 CLASE VÁLVULAS DIRECCIONALES DE 2 POSICIONES

Las válvulas direccionales como elemento hidráulico, es el equipo el cual impone cierta restricción a la dirección del fluido. Para la parte de simulación del proyecto se escogieron 3 tipos de válvulas, todas estas de 2 posiciones y sin piloto externo, donde varía el número de vías (2 vías, 3 vías, 4 vías), el número de vías indica el número de orificios que tiene la válvula para el paso del fluido, en términos generales para este tipo de válvula se le atribuyeron los siguientes parámetros:

- Los nodos de conexión de la válvula direccional deben estar unidos a otro elemento hidráulico (solo a uno), es decir no puede existir nodos sin conexión.
- La dirección del fluido, puesto que la dirección del fluido está configurada según el número de vías y su estructura.
- Las válvulas direccionales solo tendrán dos estados, el estado **inicial** que es la posición inicial antes de que se energice el solenoide de la válvula y el **alternado** cuando el solenoide ya ha sido excitado y la posición de la válvula haya cambiado.

9.3.1 Clase VDC_4v2p (): La clase VDC_4v2P (), hace referencia a una válvula direccional de 4 vías dos posiciones activada por solenoide y con retorno por muelle, para la lógica de este elemento, se evalúan dos estados el que está por defecto **inicial** (*forward*), que es cuando el nodo P y B están conectados, y cuando el nodo A y T están conectados (ver figura 34), el otro estado es **alternado** (*cross*), es cuando el nodo P y A, B y T, están conectados.

Figura 54. Válvula 4/2 Estado inicial y estado alternado.



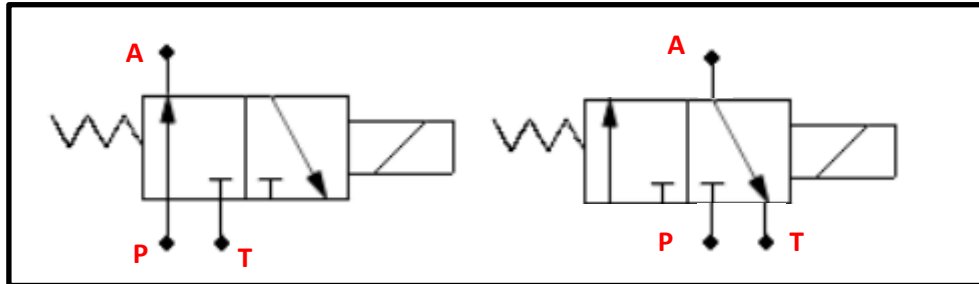
Como estén conectados y las direcciones de la flecha indicara la dirección del flujo, en el estado por defecto, el fluido viene por el nodo P y va a B para continuar en otro elemento hidráulico, el fluido de vuelta pasara primero por el nodo A para terminar en el nodo T. Teniendo esto cuenta la lógica para la programación quedo dictada baja las siguientes pautas:

1. Se pregunta inicialmente, con cuantos elementos está conectado y si ya fue activado el estado de simulación, si está conectado con un elemento por nodo (solo 1) y el estado de simulación es verdadera, continua, si no para.
2. A continuación, evalúa en qué posición esta, es decir si está en la posición por defecto, **inicial** (*forward*) o en la posición **alternado** (*cross*).
 - Opción 1 **alternado**
 - a) Verifica la dirección fluido, es decir si el fluido está entrando por el nodo P y está saliendo por el nodo T, si es así continua, si no para y muestra el error.
 - b) Cuando se halla verificado la dirección del fluido exitosamente el fluido ira del nodo P al nodo A, y se regresara por el nodo B al nodo T.
 - Opción 2, **inicial**:
 - a) Verifica la dirección fluido, es decir si el fluido está entrando por el nodo P y está saliendo por el nodo T, si es así continua, si no para y muestra el error.
 - b) Cuando se halla verificado la dirección del fluido exitosamente el fluido ira del nodo P al nodo B y se regresara por el nodo A al nodo T.
3. Cuando los pasos 1 y 2 estén correctos, continúe y examine al siguiente elemento hidráulico, y si alguno falla el programa para inmediatamente y muestra el error.

9.3.2 Clase VDC_3v2p (): La clase VDC_3v2P (), hace referencia a una válvula direccional de 3 vías dos posiciones activada por solenoide y retorno por muelle, para la lógica de este elemento, se evalúan dos estados el que está por defecto, el estado **inicial** (*forward*), que es cuando el nodo P y A están conectados, y el nodo

T está bloqueado (ver figura 35), el otro estado es **alternado** (*croos*), es cuando el nodo A y T están conectados, y el nodo P está bloqueado.

Figura 55. Válvula 3/2 el estado inicial y el estado alternado.



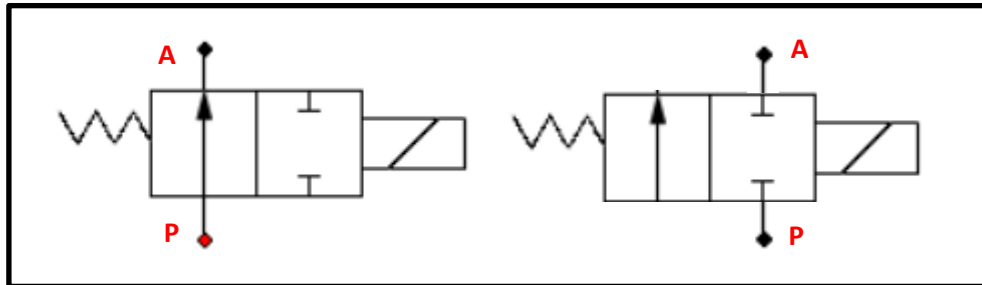
Como estén conectados y las direcciones de la flecha indicaran la dirección del flujo, en el estado por defecto, el fluido viene por el nodo P y va a A para continuar en otro elemento hidráulico, y el fluido que pasa por el nodo T está bloqueado. Teniendo esto cuenta la lógica para la programación queda dictada baja las siguientes pautas:

1. Se pregunta inicialmente, con cuantos elementos está conectado y si ya fue activado el estado de simulación, si está conectado con un elemento por nodo (solo 1) y el estado de simulación es verdadera, continua, si no para.
 2. A continuación, evalúa en qué posición esta, es decir si está en el estado **inicial** (*forward*) o en el estado **alternado** (*croos*).
- Opción 1 estado **alternado**:
 - a) Verifica la dirección fluido, es decir si el fluido está entrando por el nodo P y bloqueado en el nodo T, si es así continua, si no para y muestra el error.
 - b) Cuando se halla verificado la dirección del fluido exitosamente el fluido ira del nodo P al nodo A, y se bloqueara en el nodo T.

- Opción 2 estado **inicial**:
 - a) Verifica la dirección fluido, es decir si el fluido está entrando por el nodo A y bloqueado en el nodo P, si es así continua, si no para y muestra el error.
 - b) Cuando se halla verificado la dirección del fluido exitosamente el fluido ira del nodo A al nodo T, y se bloqueara en el nodo P.
- 3. Cuando los pasos 1 y 2 estén correctos, continúe y examine al siguiente elemento hidráulico, y si alguno falla el programa para inmediatamente y muestra el error.

9.3.3 Clase VDC_2v2p (): La clase VDC_2v2P (), hace referencia a una válvula direccional de 2 vías 2 posiciones activada por solenoide y retorno por muelle, para la lógica de este elemento, se evalúan dos estados el que está por defecto, el estado **inicial** (*forward*), que es cuando el nodo P y A están conectados (ver figura 36), y el otro estado, el estado **alternado** (*cross*) cuando el nodo P y A están bloqueado

Figura 56. Válvula 2/2 el estado inicial y el estado alternado



Como estén conectados y las direcciones de la flecha indicaran la dirección del flujo, en el estado por defecto, el fluido viene por el nodo P y va a A para continuar en otro elemento hidráulico, teniendo esto cuenta la lógica para la programación queda dictada baja las siguientes pautas:

1. Se pregunta inicialmente, con cuantos elementos está conectado y si ya fue activado el estado de simulación, si está conectado con un elemento por nodo (solo 1) y el estado de simulación es verdadera, continua, si no para.
2. A continuación, evalúa en qué posición esta, es decir si está en la posición por defecto “estado **inicial**” (*forward*) o en el estado **alternado** (*cross*).
 - Opción 1 estado **alternado**:
 - a) Verifica la dirección fluido, es decir si el fluido está entrando por el nodo P, si es así continua, si no para y muestra el error.
 - b) Cuando se halla verificado la dirección del fluido exitosamente el fluido queda bloqueado, impidiendo el paso del fluido del nodo P al nodo A.
 - Opción 2 estado **inicial**:
 - a) Verifica la dirección fluido, es decir si el fluido está entrando por el nodo P, si es así continua, si no para y muestra el error.
 - b) Cuando se halla verificado la dirección del fluido exitosamente el fluido ira del nodo P al nodo A.
3. Cuando los pasos 1 y 2 estén correctos, continúe y examine al siguiente elemento hidráulico, y si alguno falla el programa para inmediatamente y muestra el error.

9.4 CLASE VALVULA_DESCARGA ():

En esta clase se le aplica la lógica a la válvula de control de presión “Válvula de descarga”, que es el elemento hidráulico el cual a cierta presión (taraje) permite que el fluido se deposite a tanque para proteger otro elemento o un proceso determinado, para la lógica de la válvula de descarga se tuvo en cuenta:

- Los nodos de conexión de la válvula de descarga van conectados a una bomba, a un tanque y a una válvula direccional.

- La dirección del fluido, si hay un elemento impidiendo el paso del fluido o el actuador ha terminado de desplazarse la válvula de descarga, descargara todo el fluido a tanque.
- La válvula de descarga tiene dos posiciones, el estado **inicial** (*forward*) cuando la válvula de descarga esta inactiva y el estado **alternado** (*backward*) cuando la válvula de descarga esta activa, por defecto se encontrará en la primera posición.

Los pasos que siguen la función simular dentro de esta clase son las siguientes:

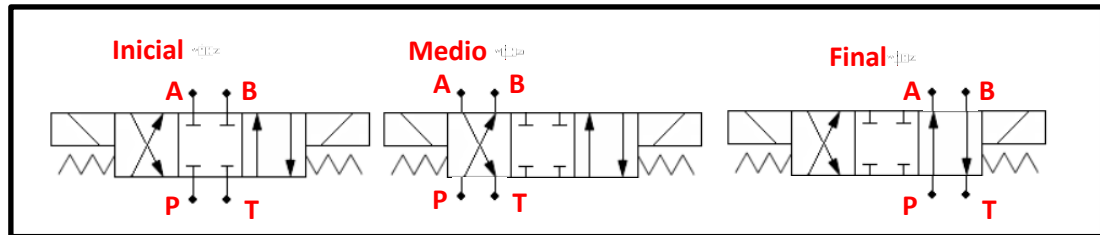
1. Inicialmente la función examina si cada nodo esta efectivamente conectado a otro elemento, si es así, continúa al siguiente paso (la salida de la válvula de descarga a tanque y la entrada a la salida de la bomba).
2. Ahora evalúa en qué posición esta, si está en el estado **inicial** (*forward*) o en el estado **alternado** (*backward*), dependiendo de la posición el fluido se descarga a tanque:
 - Opción 1: (si está en el estado **inicial** (*forward*)): La válvula de descarga se encuentra inactiva por lo tanto el fluido es aprovechado para realizar un trabajo visto en el desplazamiento del actuador.
 - Opción 2: (si está en el estado **alternado** (*backward*)): La válvula de descarga se encuentra activa por lo tanto todo el fluido se descarga a tanque.
3. Cuando los pasos 1 y 2 se den, simule, en caso contrario muestre el error.

9.5 CLASE VDCcerrado ():

La clase VDCcerrado (), hace referencia a una válvula direccional de 4 vías tres posiciones activada por solenoide y centrada por muelle con centro cerrado, para la lógica de este elemento, se evalúan tres estados el que está por defecto, el estado **inicial**, que es cuando el nodo P, T, A y B están cerrados, el segundo estado, estado

medio, que es cuando el par de nodos P y A, y B y T están conectados, y el ultimo estado, el estado **final**, que es cuando el par de nodos P y B, y A y T están conectados (ver figura 37).

Figura 57. Válvula 4/3 con centro cerrado, Estado inicial, medio y final.



Como estén conectados y las direcciones de la flecha indicaran la dirección del flujo, en el estado por defecto, el estado **inicial**, no hay paso del fluido en ningún sentido. En el siguiente estado, estado **final**, el fluido viene por el nodo P y va a A para continuar en otro elemento hidráulico, el fluido de vuelta pasara primero por el nodo B para terminar en el nodo T, y el estado **medio**, el fluido viene por el nodo P y va a B para continuar en otro elemento hidráulico, el fluido de vuelta pasara primero por el nodo A para terminar en el nodo T. Teniendo esto cuenta la lógica para la programación quedo dictada baja las siguientes pautas:

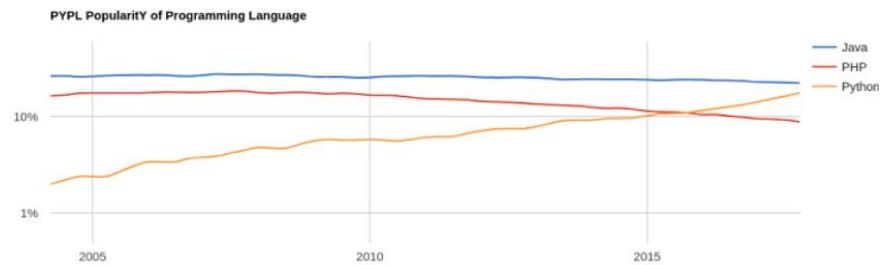
1. Se pregunta inicialmente, con cuantos elementos está conectado y si ya fue activado el estado de simulación, si está conectado con un elemento por nodo (solo 1) y el estado de simulación es verdadera, continua, si no para. (En el nodo P cabe la posibilidad de que esté conectado a dos elementos solo si el elemento adicional es una válvula de descarga).
2. A continuación, evalúa en qué posición esta, es decir si está en la posición por defecto, el estado **inicial, medio, o final**.
 - Opción 1, estado **inicial**:
 - a) El sistema hidráulico no realizara ninguna acción después de las conexiones del nodo P (solo si está conectada a una válvula de descarga todo el fluido se descarga a tanque)

- Opción 2, estado **final**:
 - a) Verifica la dirección fluido, es decir si el fluido está entrando por el nodo P y está saliendo por el nodo T, si es así continua, si no para y muestra el error.
 - b) Cuando se halla verificado la dirección del fluido exitosamente el fluido ira del nodo P al nodo A, y se regresara por el nodo B al nodo T.
 - Opción 3, estado **medio**:
 - a) Verifica la dirección fluido, es decir si el fluido está entrando por el nodo P y está saliendo por el nodo T, si es así continua, si no para y muestra el error.
 - b) Cuando se halla verificado la dirección del fluido exitosamente el fluido ira del nodo P al nodo B y se regresara por el nodo A al nodo T.
3. Cuando los pasos 1 y 2 estén correctos, continúe y examine al siguiente elemento hidráulico, y si alguno falla el programa para inmediatamente y muestra el error.

10. CONCLUSIONES

- Haciendo uso de la primera versión del programa de diseño asistido por computadora (CAD) nombrado como **FLUIDPOWER**, se pudo graficar circuitos hidráulicos con una librería de 78 elementos respondiendo al objetivo planteado al inicio del presente. Esta versión 1.0 del programa cuenta con una interfaz amigable y de fácil entendimiento para el usuario, herramientas graficas tales como agregar líneas de conexión entre elementos, mover los elementos, y agregar texto, brindando así al estudiante una nueva herramienta en la preparación de planos ingenieriles para la asignatura Potencia hidráulica.
- El desarrollo del proyecto en base a un lenguaje de programación como lo es Python en una multiplataforma orientado a objetos en este caso Tkinter, muestra la versatilidad y escalabilidad del proyecto a futuro, puesto que Python es un lenguaje de programación cada vez más altamente trabajado y conocido a nivel mundial según **Popularity of Programming Language (PYPL)**, encontrando de este modo bibliotecas más especializadas y actualizadas en el paso del tiempo. Pese a que Python actualmente es un lenguaje de programación poderoso, no existe una librería en una plataforma **WINDOWS** que permita crear documentos pdf, por tal motivo, fue necesario guardar los archivos ejecutados en esta primera versión del programa haciendo uso de una extensión ps (postscript) para los trabajos realizados en esta primera versión del programa.

Figura 58. Crecimiento de la popularidad de Python en los últimos 5 años



Fuente: PYPL

- La lógica booleana planteada en el desarrollo de este proyecto es aplicable al 10,25% del total de los 78 elementos hidráulicos disponibles en la librería del programa, este porcentaje del 10,25% obedece a un total de 8 elementos hidráulicos. La lógica booleana solo es aplicable hasta al momento a estos 8 elementos debido a su extensión y trabajo que conllevan realizar el análisis de cada una de sus variables puesto que la codificación de estos 8 elementos representa aproximadamente un 36% del total de las 7083 líneas de codificación del módulo Main_canvas. La codificación para aplicar la lógica booleana a los 70 elementos restantes se propone para la versión 2 del programa, una versión 3 del programa resultaría en añadirle ecuaciones y funciones matemáticas a cada elemento del circuito.
- En esta versión uno del proyecto, se enfocó principalmente en dejar una librería con una base de datos grafica completa constituida de 78 elementos hidráulicos, donde de este listado se seleccionaron 8 elementos para simular. Cada elemento hidráulico fue asignado a una clase de las 7 existentes (Actuadores, elementos de alimentación, válvulas direccionales, válvulas de control de caudal, válvulas de control de presión, e instrumentos de medición) según como se propuso en los objetivos.

11. RECOMENDACIONES

- Se propone a futuro la continuación de este proyecto, utilizando de base la infraestructura adquirida hasta ahora, convirtiéndolo así en un proyecto escalable a servicio para los estudiantes de la universidad industrial de Santander, enfocada principalmente a los estudiantes de la escuela de ingeniería mecánica. A su vez se propone la Inclusión del código realizado, a la plataforma github³⁵, como un código libre para darle así, no solo continuidad dentro de la escuela de ingeniería mecánica, sino alcanzar unos parámetros mayores a los previstos.
- La configuración de la primera versión del programa **FLUIDPOWER** está diseñado en el lenguaje *Python* bajo la GUI *Tkinter*, ya que permite el desarrollo de forma sencilla y el uso de una amplia gama de bibliotecas orientada a la programación de objetos, así que si se desea seguir la continuación de este proyecto, se recomienda realizar , o en su defecto revisar los tutoriales descritos en el siguiente link: <https://pythonprogramming.net/tkinter-depth-tutorial-making-actual-program/>, para que con base a esto, el nuevo estudiante líder del proyecto posea un mayor entendimiento y visualización del código realizado.
- Al crear un programa tan voluminoso y complejo, se recomienda crear un fraccionamiento del código, como se estipulo durante el desarrollo del presente proyecto: dividirlo en tres partes, por un lado un código especializado en la creación de gráficos y aplicación de la lógica booleana, por otro lado una barra de herramientas básicas de un programa CAD, y por último el código principal

³⁵ **Github:** GITHUB es una plataforma de desarrollo inspirada por la forma en que uno trabaja. Desde una fuente libre o de negocios, se puede organizar y revisar códigos, administrar proyectos, y construir software junto a otros millones de desarrolladores.

que compila a los otros dos códigos mencionados. Si el código siguiera creciendo, es bueno, subdividir el código en los aspectos más relevantes de este, con el fin de evitar inconvenientes a la hora de comentar o editar el código nuevamente.

- Al examinar cada elemento hidráulico para añadirlo como un elemento a simular, es indispensable saber las características de cada uno y bajo qué parámetros generales se rige. En el caso de cilindro de doble efecto, se redujo a dos estados según la posición del vástago y a la dirección del flujo, y con base a esto se realizó un análisis lógico del elemento.

BIBLIOGRAFIA

Álgebra de Boole lógica combinacional. p.1-18

ALVAREZ, Alejandro. Guía Tkinter documentation. Mayo, 2016.

CAMPUS VIRTUAL UNIVERSIDAD DEL TRABAJO DE URUGUAY Unidad didáctica: “Simbología neumática e hidráulica” [en línea] [citado el 19 de Diciembre de 2017] disponible en: <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecánica-general/MATERIAL%20BIBLIOGRAFICO%20TECNICO%20PARA%20APOYO%20ODOCENTE/APORTES%20VARIOS%20PARA%20DOCENTES/CURSO%20DE%20HIDRAULICA/SIMBOLOGIA%20NEUMATICA%20E%20HIDRAULICA.pdf>

GRAYSON, Jhon. Python and Tkinter Programming. Greenwich: Manning.

GRUPO VIRTUS Circuitos neumáticos e hidráulicos [en línea] [citado el 19 de Diciembre de 2017]. disponible en: http://grupovirtus.org/moodle/pluginfile.php/5706/mod_resource/content/1/semana_2/Unidad_2Circuitos_Neumaticos_e_Hidraulicos.pdf >

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Compendio, tesis y otros trabajos de grado. Quinta Actualización. Bogota. ICONTEC, 2002.

PHYTON Capítulo 3: “Transformaciones geométricas” [en línea] [citado el 19 de Diciembre de 2017]. Disponible en: <http://docs.python.org.ar/tutorial/3/real-index.html>>

PRESSMAN, Roger S. Ingeniería del software un enfoque práctico. 7 ed. México: McGraw-Hill, 2010.777 p. ISBN 978-607-15-0314-5

PYTHON. Introducción [en línea]. [Citado el 19 de Diciembre de 2017). Disponible en: <[http](http://docs.python.org.ar/tutorial/3/real-index.html)>//docs.python.org.ar/tutorial/3/real-index.html>

PYTHON. Qt (biblioteca) [en línea] [citado el 19 de Diciembre de 2017]. disponible en: <http://docs.python.org.ar/tutorial/3/real-index.html>

SILVA BIJIT, Leopoldo. Funciones Booleanas. p. 1-23

SOMMERVILLE, Ian. Ingeniería del software. 7 ed. Madrid: Addison Wesley, 2005. 687 p. ISBN 84-7829-074-5

VICKERS. Manual de oleo hidráulica industrial. Barcelona: Blume.

ANEXOS

ANEXO A. TABLA DE LA BASE DE DATOS GRAFICAS DE LOS ELEMENTOS HIDRAULICOS UTILIZADOS

Tabla 11. Símbolos hidráulicos de actuadores.

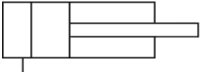
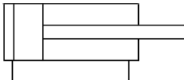
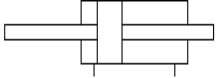
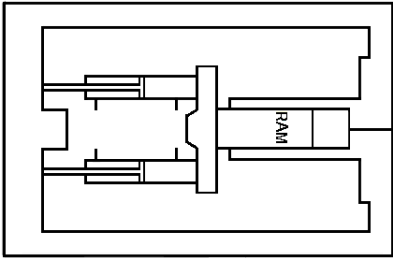
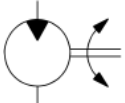
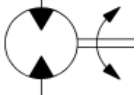
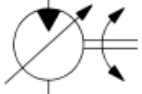
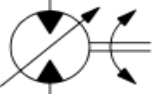
ACTUADORES	
Símbolo	Descripción
	Cilindro de simple efecto, retorno por esfuerzos externos.
	Cilindro de doble efecto, vástago simple.
	Cilindro de doble efecto, doble vástago.
	RAM
	Motor hidráulico de caudal fijo de una dirección.
	Motor hidráulico de caudal fijo de dos direcciones.
	Motor hidráulico de caudal variable de una dirección.
	Motor hidráulico de caudal variable de dos direcciones.

Tabla 12. Símbolos hidráulicos de elementos de alimentación.

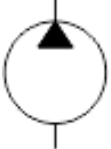



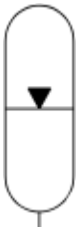

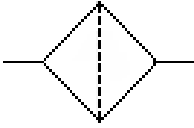
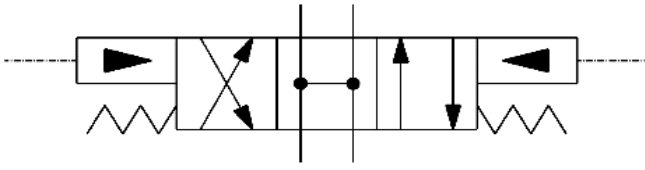
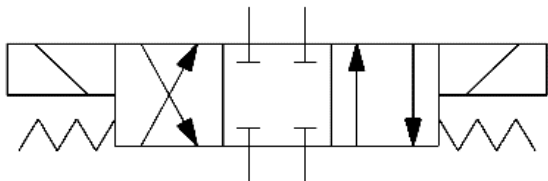
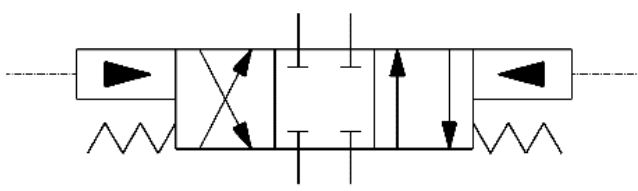
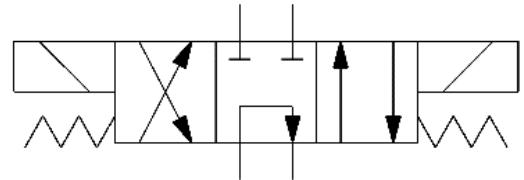
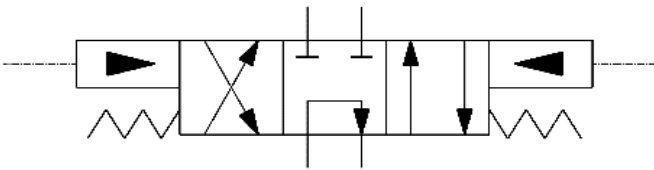
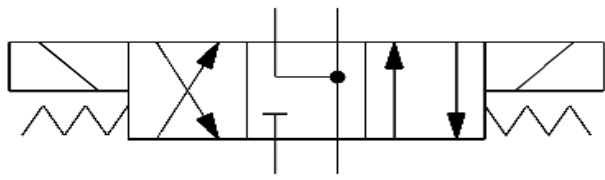
ELEMENTOS DE ALIMENTACIÓN	
Símbolo	Descripción
	Bomba hidráulica de caudal fijo de una dirección.
	Bomba hidráulica de caudal fijo de dos direcciones.
	Bomba hidráulica de caudal variable de una dirección.
	Bomba hidráulica de caudal variable de dos direcciones.
	Acumulador hidráulico.
	Tanque.
	Filtro hidráulico.

Tabla 13. Símbolo hidráulico de válvulas direccionales principales.

VÁLVULAS DIRECCIONALES	
Símbolo	Descripción
	Válvula 2/2 con activación por solenoide y retorno mecánico por muelle.
	Válvula 2/2 con activación por piloto y retorno mecánico por muelle.
	Válvula 3/2 con activación por solenoide y retorno mecánico por muelle.
	Válvula 3/2 con activación por piloto y retorno mecánico por muelle.
	Válvula 4/2 con activación por solenoide y retorno mecánico por muelle.
	Válvula 4/2 con activación por piloto y retorno mecánico por muelle.
	Válvula 4/3 con activación por solenoide, centrada por muelle, y centro abierto.

VÁLVULAS DIRECCIONALES	
Símbolo	Descripción
	Válvula 4/3 con activación por piloto, centrada por muelle, y centro abierto.
	Válvula 4/3 con activación por solenoide, centrada por muelle, y centro cerrado.
	Válvula 4/3 con activación por piloto, centrada por muelle, y centro cerrado.
	Válvula 4/3 con activación por solenoide, centrada por muelle, y centro tandem.
	Válvula 4/3 con activación por piloto, centrada por muelle, y centro tandem.
	Válvula 4/3 con activación por solenoide, centrada por muelle, y centro punto flotante.

VÁLVULAS DIRECCIONALES	
Símbolo	Descripción
	Válvula 4/3 con activación por piloto, centrada por muelle, y centro punto flotante.

Tabla 14. Símbolo hidráulico de válvulas direccionales adicionales.

VÁLVULAS DIRECCIONALES	
Símbolo	Descripción
	Válvula 4/3 con activación por solenoide, centrada por muelle.
	Válvula 4/3 con activación por piloto, centrada por muelle.
	Válvula 4/3 con activación por solenoide, centrada por muelle.
	Válvula 4/3 con activación por piloto, centrada por muelle.
	Válvula 4/3 con activación por solenoide, centrada por muelle.

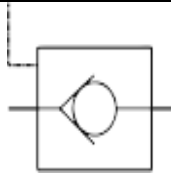
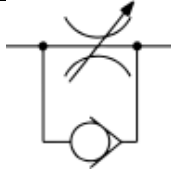
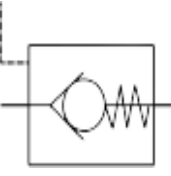
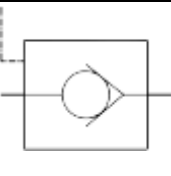
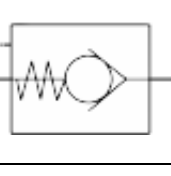



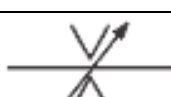
VÁLVULAS DIRECCIONALES

Símbolo	Descripción
	Válvula 4/3 con activación por piloto, centrada por muelle.
	Válvula 4/3 con activación por solenoide, centrada por muelle.
	Válvula 4/3 con activación por piloto, centrada por muelle.
	Válvula 4/3 con activación por solenoide, centrada por muelle.
	Válvula 4/3 con activación por piloto, centrada por muelle.
	Válvula 4/3 con activación por solenoide, centrada por muelle.
	Válvula 4/3 con activación por piloto, centrada por muelle.

VÁLVULAS DIRECCIONALES	
Símbolo	Descripción
	Válvula 4/3 con activación por solenoide, centrada por muelle.
	Válvula 4/3 con activación por piloto, centrada por muelle.
	Válvula 4/3 con activación por solenoide, centrada por muelle.
	Válvula 4/3 con activación por piloto, centrada por muelle.

Tabla 15. Símbolos hidráulicos de válvulas de control de caudal.

VÁLVULAS DE CONTROL DE CAUDAL	
Símbolo	Descripción
	Válvula antirretorno
	Válvula antirretorno con muelle.

VÁLVULAS DE CONTROL DE CAUDAL	
Símbolo	Descripción
	Válvula antirretorno desbloqueable.
	Válvula antirretorno estranguladora.
	Válvula de retención pilotada con precarga por muelle.
	Válvula de retención con cierre pilotado.
	Válvula de retención con cierre pilotado con precarga por muelle.
	Válvula estranguladora.
	Válvula estranguladora ajustable.
	Orificio.
	Orificio ajustable.


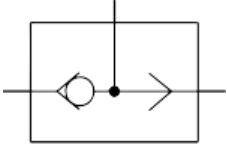
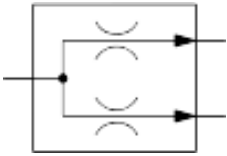
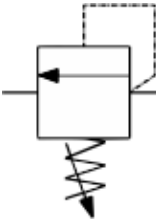
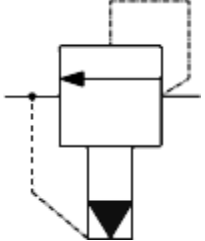
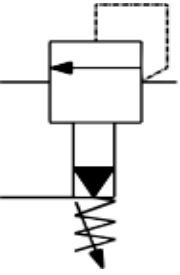
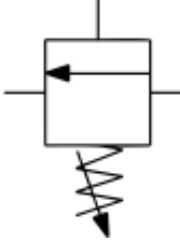
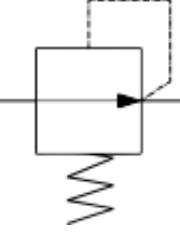
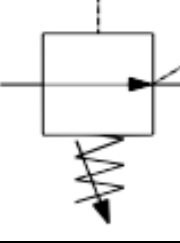
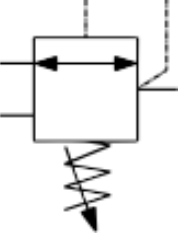
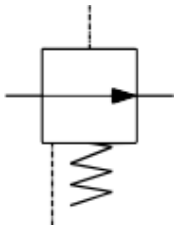
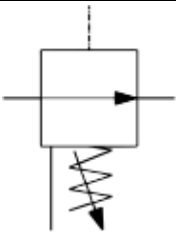
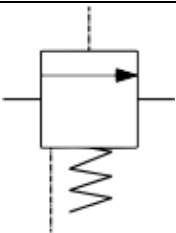
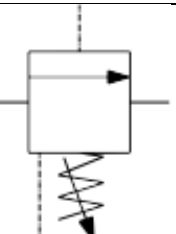
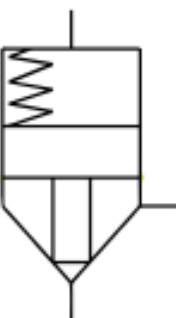
VÁLVULAS DE CONTROL DE CAUDAL	
Símbolo	Descripción
	Válvula de cierre.
	Válvula selectora.
	Válvula distribuidora de caudal.

Tabla 16. Símbolos hidráulicos de válvulas de control de presión.

VÁLVULAS DE CONTROL DE PRESIÓN	
Símbolo	Descripción
	Válvula limitadora de presión.
	Válvula limitadora de presión(pre-comandada).

VÁLVULAS DE CONTROL DE PRESIÓN	
Símbolo	Descripción
	Válvula limitadora de presión con piloto(pre-comandada).
	Válvula de desconexión y frenado.
	Válvula reguladora de presión.
	Válvula reguladora de presión ajustable.
	Válvula direccional de 3 vías reductora de presión.

VÁLVULAS DE CONTROL DE PRESIÓN	
Símbolo	Descripción
	Compensador de presión de cierre.
	Compensador de presión de cierre ajustable.
	Compensador de presión de apertura
	Compensador de presión de apertura ajustable.
	Válvula de cartucho de apertura.

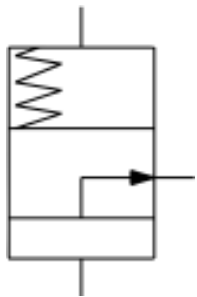
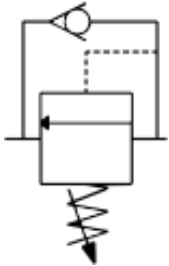

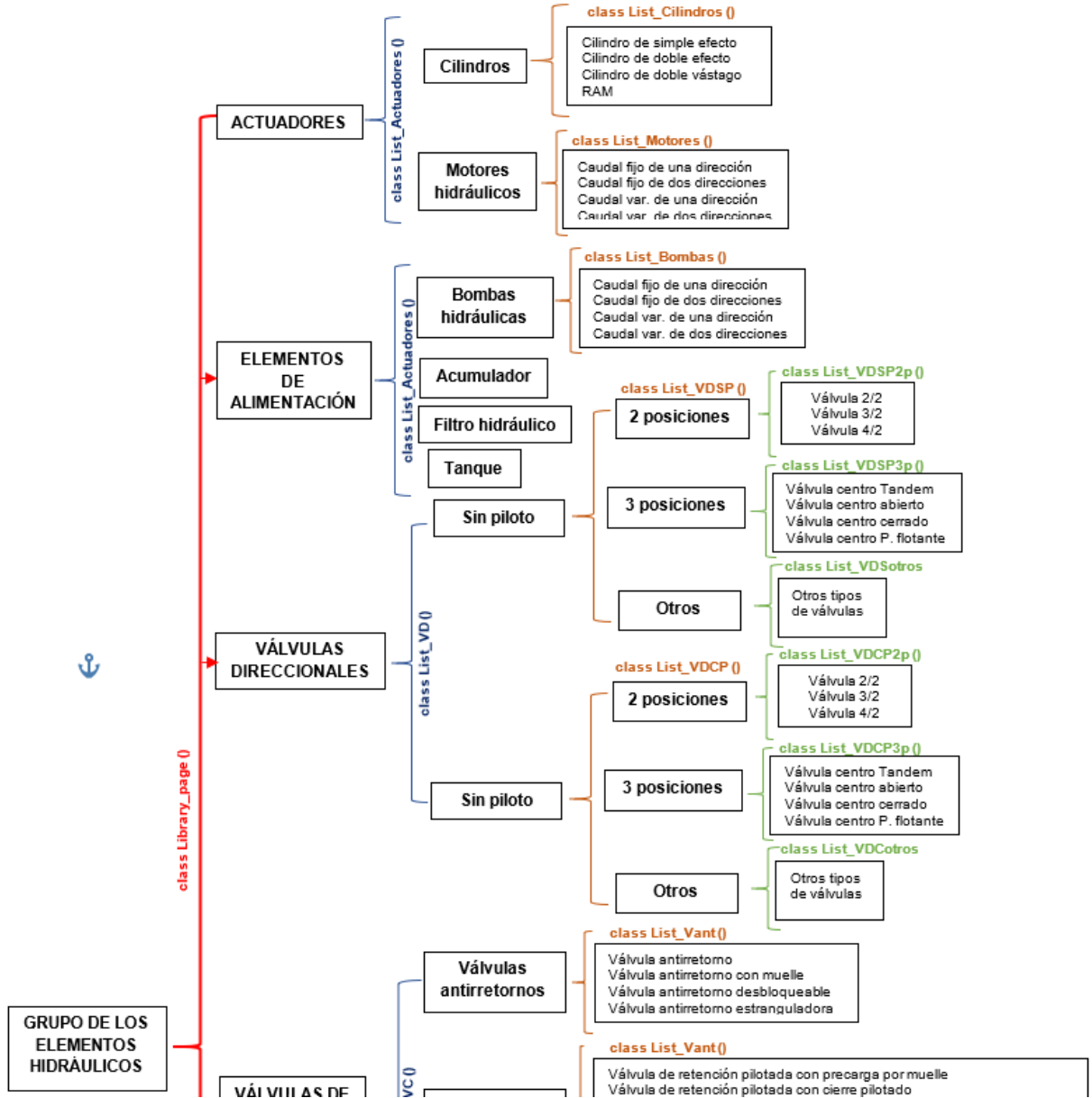
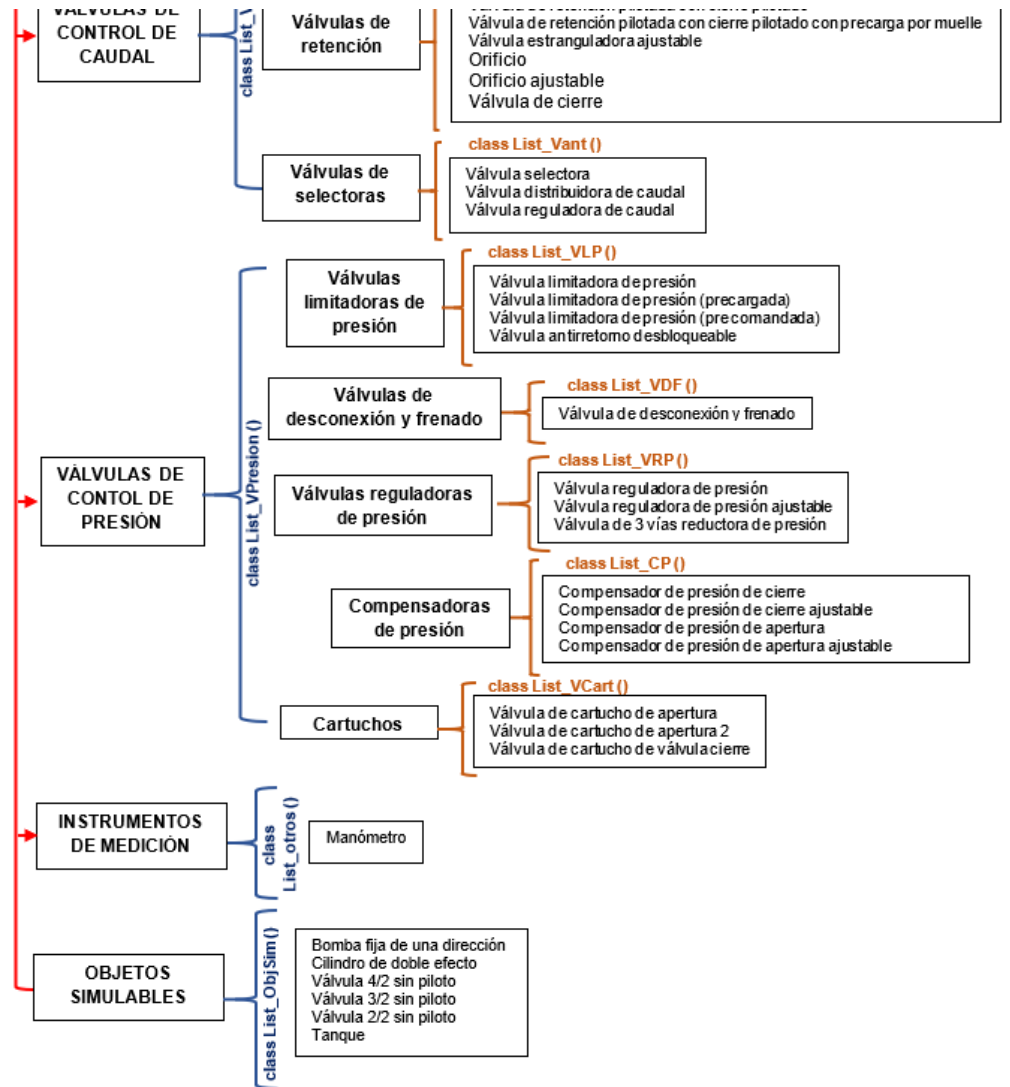
VÁLVULAS DE CONTROL DE PRESIÓN	
Símbolo	Descripción
	Válvula de cartucho de cierre.
	Válvula de equilibraje.

Tabla 17. Símbolo hidráulico de elementos de medición.

ELEMENTOS DE MEDICIÓN	
Símbolo	Descripción
	Manómetro.

ANEXO B. JERARQUIA DE LA CLASE LIST_CATEGORIA ()



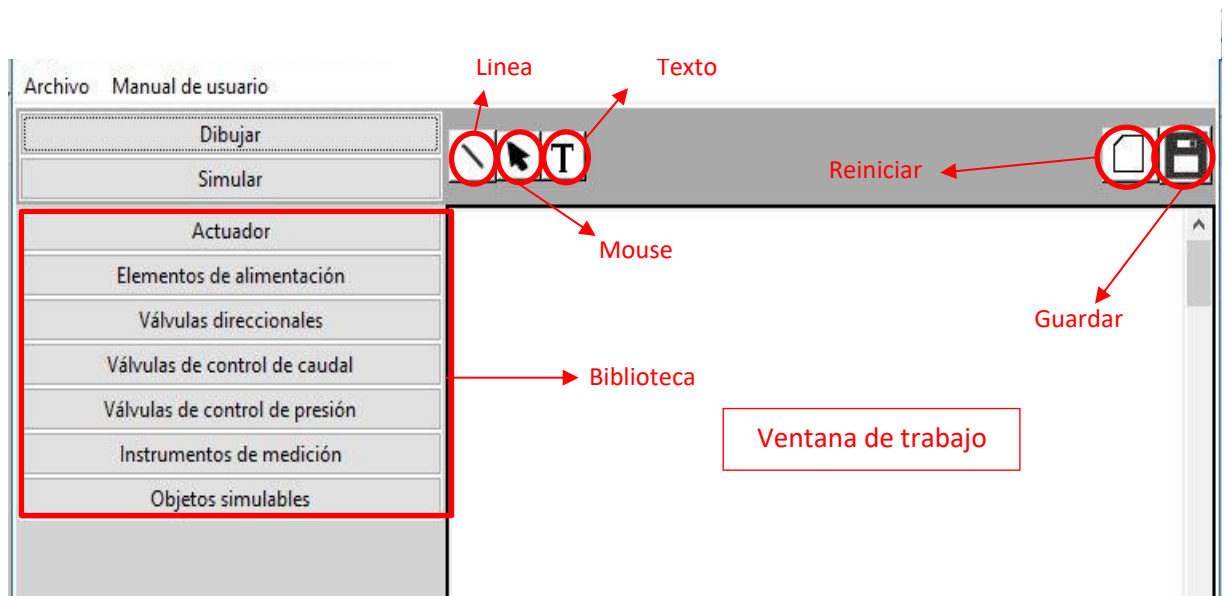


ANEXO C. MANUAL DE USUARIO FLUID POWER

¿Cómo Dibujar un circuito hidráulico?

Primero se debe dar clic izquierdo en el botón “**Dibujar**”, cuando se está en el modo “**Dibujar**”, se tienen disponibles las herramientas para crear circuitos hidráulicos las cuales se explican a continuación:

Figura 59. Interfaz gráfica del usuario cuando está activa el modo “Dibujar”



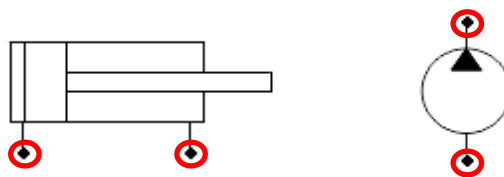
a. Mouse: Esta herramienta se activa dando clic sobre el icono mostrado anteriormente, cuando esta activada es posible realizar las siguientes acciones:

- **Dibujar elementos:** Para dibujar un elemento se debe buscar en la **biblioteca** (ver anexo) el nombre del objeto que se desee dibujar y luego darle clic izquierdo al botón con el nombre del elemento y este será dibujado en la **ventana de trabajo**.

- **Mover elementos:** Para mover un elemento se debe dar clic izquierdo en el elemento que se quiera mover, luego debe mantenerse el clic mientras se mueve a la posición deseada, en esta posición se suelta el clic izquierdo y el objeto queda en la nueva posición.
 - **Eliminar elementos o líneas:** Para eliminar un elemento o una línea se debe dar clic izquierdo sobre el elemento o línea que se quiera eliminar, después de soltar el clic izquierdo se oprime la tecla suprimir (**supr**).
 - **Girar un elemento:** Para girar un elemento simplemente se debe dar clic derecho sobre un elemento que se quiera girar. Los elementos giran 90 grados en sentido de las manecillas del reloj por cada clic derecho sobre la figura.
- b. Línea:** Esta herramienta se activa dando clic izquierdo sobre el icono mostrado anteriormente, esta herramienta permite unir elementos. Las líneas representan la tubería que los conectan en un circuito hidráulico.

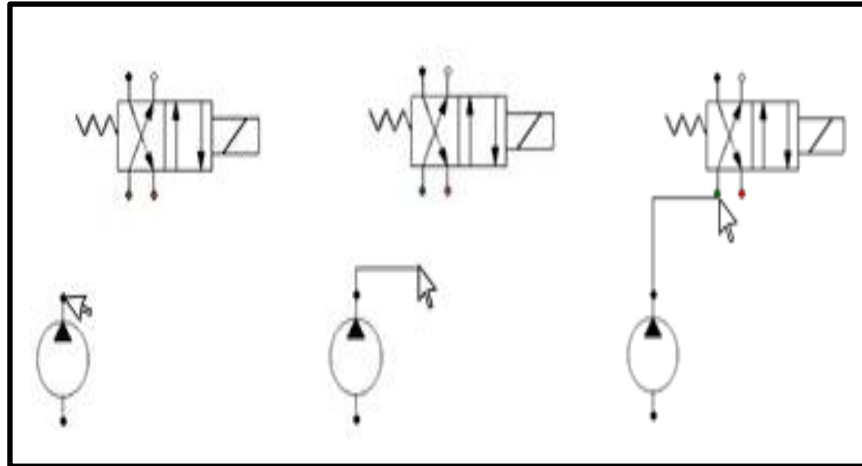
Cada objeto tiene unos puntos de conexión que están representados por óvalos negros como se ven a continuación, resaltados con un círculo rojo:

Figura 60. Óvalos de los elementos



Las líneas solo se pueden hacer entre esos óvalos, para la simulación cada ovalo solo puede tener una línea conectada. Para realizar la línea se debe: Dar clic izquierdo sobre el ovalo de origen, después mantener el clic izquierdo y mover el mouse hasta la posición final y por último soltar el clic izquierdo.

Figura 61. Trazado de una línea.



- c. Texto:** Esta herramienta se activa con un clic izquierdo sobre el icono mostrado anteriormente, la función permite crear ventanas de texto, las cuales pueden ser usadas para nombrar los elementos del diagrama que se esté haciendo, para mover las ventanas de texto es necesario activar la función **mouse**.
- d. Reiniciar:** Esta herramienta se activa dando clic izquierdo sobre el icono mostrado anteriormente, la función reiniciar elimina todos los elementos y las líneas sobre la **ventana de trabajo**.
- e. Guardar:** Esta herramienta se activa dando clic izquierdo sobre el icono mostrado anteriormente, esta versión del programa guarda imágenes en formato **.ps(Postscript)** todo lo que está en la ventana de trabajo.

¿Cómo Simular un circuito hidráulico?

Primero se debe tener en cuenta que para esta versión los elementos que pueden ser simulados son limitados y se encuentran en la **biblioteca**, en el botón “Simulación”.

Una vez se oprime el botón “**Simular**”, el programa verifica que todos los elementos del circuito hidráulico dibujado se puedan simular y que todos los elementos estén conectados adecuadamente, de lo contrario no simulara y mostrara una ventana de error, el mensaje en esta ventana depende el tipo de error que se genere.

Figura 62. Error por no conectar un elemento.

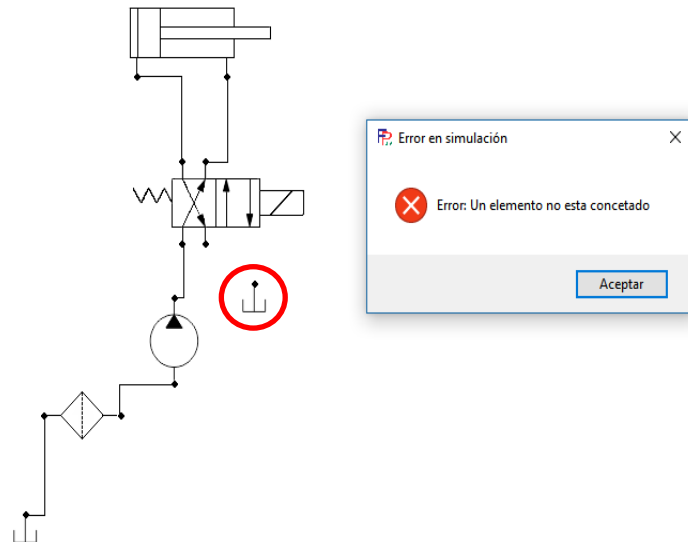
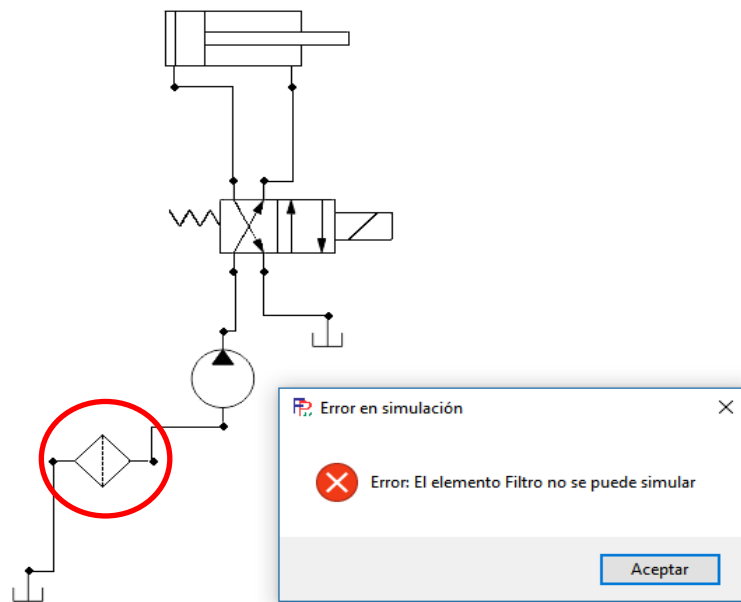
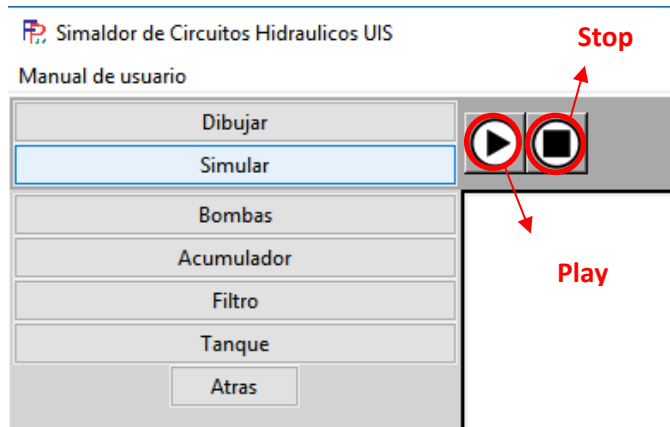


Figura 63. Error por colocar un elemento que no se puede simular.



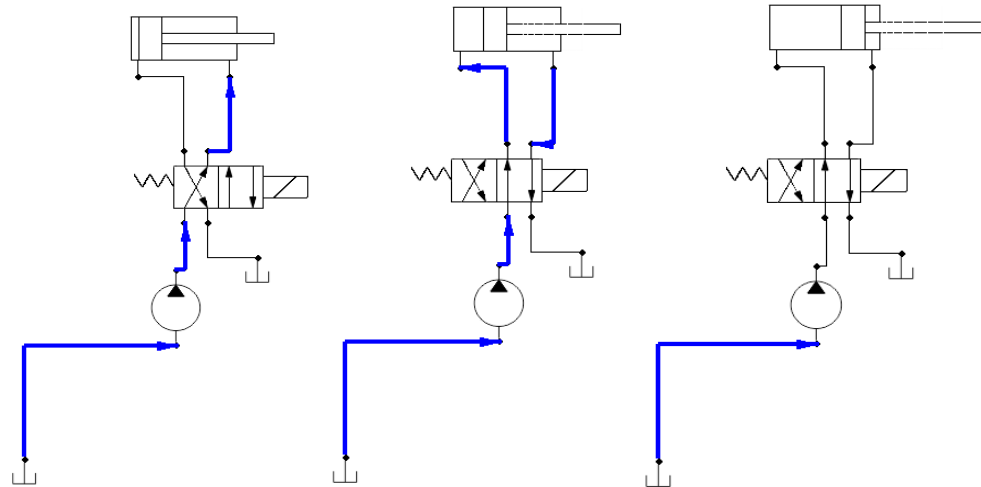
Si el circuito hidráulico no presenta ningún problema de los anteriores, después de verificar el circuito hidráulico se habilitan dos nuevos botones:

Figura 64. Modo simular



- **Play:** Esta herramienta se habilita cuando se oprime el botón mostrado anteriormente, cuando se oprime el botón el circuito empieza a simular y el flujo recorre el camino según está configurado inicialmente, luego las válvulas pueden cambiar la dirección del flujo, esto se realiza variando la posición de la válvula mediante un clic izquierdo sobre la válvula a la cual se le desee cambiar la posición.

Figura 65. Simulación de un circuito (antes, durante y después de darle clic izquierdo a la válvula direccional)



- **Stop:** Esta herramienta se habilita cuando se oprime el botón mostrado anteriormente, este botón hace volver todos los elementos a la posición inicial y detiene la simulación. Puede ser útil, ya sea para empezar la simulación desde el principio o para ir al botón “*Dibujar*” y hacer cambios en el circuito.

Circuitos hidráulicos con válvula de seguridad

Para agregar una válvula de seguridad en la descarga de la bomba, esta se debe conectar al punto de salida de la bomba, de lo contrario arrojará error y la válvula no cumplirá su función, impidiendo la simulación.

Figura 66. Conexión de la válvula de seguridad.

