

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**



**“DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE  
BOMBEO DE AGUA POTABLE UTILIZANDO PLC SIEMENS EN EL  
AA.HH. RINCONADA DEL BOSQUE YANACOTO – LURIGANCHO  
CHOSICA - LIMA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

LEON VASQUEZ, RANDY MAX

**Villa El Salvador**

**2016**

## DEDICATORIA

*A Dios.*

*Por permitirme vivir un día más y darme una hermosa familia llena de salud y  
felicidad.*

*A mi Hermana.*

*Por ser la niña más fuerte del mundo, y acompañarme todos los días  
robándome una sonrisa o una lagrime. Te quiero y siempre estaremos juntos.*

*A mi Madre.*

*Por darme la vida, y desde ese momento estar a mi lado dándome un amor  
puro y sincero. Gracias por comprenderme y por haber hecho de mí un hombre  
de bien.*

*A mi Padre.*

*Por darme las palabras exactas cuando estaba a punto de rendirme y esos  
consejos que hicieron posible que llegara a cumplir mis objetivos. Por ser mí  
amigo y brindarme su apoyo incondicional. Gracias viejo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Al Ing. Ricardo Palomares.*

*Por el apoyo en cada una de las sesiones de asesoría.*

*Al Ing. Edgar Oporto.*

*Por su apoyo en el desarrollo de este proyecto, y por la paciencia que tuvo para dar sus correcciones.*

*A la Licenciada Gloria Vasquez.*

*Por haberme apoyado en la redacción del presente proyecto.*

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1. Descripción de la Realidad Problemática .....	2
1.2. Justificación del Proyecto .....	4
1.3. Delimitación del Proyecto .....	5
1.3.1. Delimitación Espacial .....	5
1.3.2. Delimitación Temporal .....	6
1.4. Formulación del Problema.....	6
1.4.1. Problema general.....	6
1.4.2. Problemas específicos .....	6
1.5. Objetivos .....	7
1.5.1. Objetivo General .....	7
1.5.2. Objetivos Específicos .....	7
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1. Antecedentes de la Investigación .....	8
2.1.1. Antecedentes nacionales .....	8
2.1.2. Antecedentes internacionales .....	9
2.2. Bases Teóricas.....	11
2.2.1. Automatización industrial .....	11

2.2.1.1. Partes de un sistema automatizado .....	12
2.2.1.2. Principio de un sistema automatizado .....	15
2.2.1.3. Tipos de automatización .....	16
2.2.1.4. Técnicas de automatización .....	17
2.2.2. Controlador lógico programable .....	22
2.2.2.1. Componentes de un PLC .....	23
2.2.2.2. Programa, programación y lenguajes de programación ...	38
2.2.3. Sistemas de bombeo .....	51
2.2.3.1. Características de los sistemas de bombeo .....	51
2.2.3.2. Elementos de un sistema de bombeo .....	53
2.2.3.3. Aguas subterráneas .....	63
2.3. Marco Conceptual .....	65
<b>CAPÍTULO III: DISEÑO Y SIMULACIÓN .....</b>	<b>68</b>
3.1. Análisis del sistema .....	69
3.1.1. Descripción del sistema actual .....	69
3.1.2. Descripción del sistema a desarrollar .....	77
3.2. Diseño del sistema .....	81
3.2.1. Hardware del sistema de bombeo .....	82

3.2.2. Software del sistema de bombeo .....	89
3.2.3. Programación del sistema de bombeo en el PLC .....	90
3.3. Revisión y consolidación de resultados .....	99
3.3.1. Simulación del sistema .....	99
3.3.2. Costos de implementación .....	111
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>112</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>114</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>116</b>

## LISTADO DE FIGURAS

### CAPITULO I

Figura 1. Plano del sistema proceso de bombeo .....	3
Figura 2. Vista aérea del AA.HH. Rinconada del Bosque Yanacoto .....	6

### CAPITULO II

Figura 3. Motor de corriente alterna .....	13
Figura 4. Modelo de lógica cableada .....	14
Figura 5. Secuencia de un sistema automático .....	16
Figura 6. Fresadora Automática.....	18
Figura 7. Automatismo neumático para llantas .....	20
Figura 8. Prensa hidráulica automática .....	21
Figura 9. PLC Siemens S7-1200.....	23
Figura 10. Diagrama de bloques de un PLC gobernando un proceso .....	25
Figura 11. Diagrama de bloques de las unidades funcionales de la CPU .....	27
Figura 12. CPU de PLC Siemens S7-1200 .....	28
Figura 13. Interface para entrada discreta en DC .....	31
Figura 14. Interface para entrada discreta en AC.....	31
Figura 15. Circuito equivalente de una interface de salida discreta en DC (tipo transistor) .....	33

Figura 16. Circuito equivalente de una interface de salida discreta en AC (tipo TRIAC).....	34
Figura 17. Circuito equivalente de una interface de salida discreta en AC (tipo Relé) .....	35
Figura 18. Ubicación de la memoria EEPROM en PLC Mitsubishi .....	38
Figura 19. Tipos de programas utilizados por el PLC.....	40
Figura 20. Representación de un Programa Grafcet .....	43
Figura 21. Representación de una puerta lógica AND y OR, utilizada en plano de funciones .....	44
Figura 22. Representación de un programa en diagrama de contactos (ladder) .....	45
Figura 23. Representación de un programa en lista de instrucciones para diferentes marcas de PLC .....	46
Figura 24. Programación secuencial.....	48
Figura 25. Programación estructurada. OB: módulo de organización, FC: módulo de programa, FB: modulo funcional, DB: módulo de datos .....	51
Figura 26. Características y componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua.....	52
Figura 27: 3 tipos de bombas de agua .....	55



Figura 28. Bomba centrífuga .....	56
Figura 29. Bomba rotatoria .....	58
Figura 30. Bomba sumergible .....	59
Figura 31. Ejemplos de válvulas .....	61
Figura 32. Reservorio de agua potable .....	63
Figura 33. Las aguas subálveas son aguas subterráneas que circulan en torno al álveo de un río asentado sobre un terreno rocoso.....	64

### **CAPITULO III**

Figura 34. Ubicación de las tres etapas de bombeo dentro de la población .....	69
Figura 35. Caseta de bombeo del pozo subterráneo.....	70
Figura 36. Tablero de arranque existente en el pozo subterráneo .....	71
Figura 37. Circuito eléctrico de arranque de motor sumergible .....	72
Figura 38. Caseta de bombeo de la planta de tratamiento .....	73
Figura 39. Reservorios de acopio de 50 m <sup>3</sup> cada uno .....	74
Figura 40. Tablero eléctrico para el arranque del motor sumergible de la planta de tratamiento .....	75
Figura 41. Bomba Centrífuga de respaldo, en la planta de tratamiento .....	76
Figura 42. Reservorio final, ubicado en la parte alta de Yanacoto.....	77
Figura 43. Captador y actuador en el pozo subterráneo .....	78

Figura 44. Captadores y actuadores en la plata de tratamiento .....	79
Figura 45. Captadores en el reservorio final .....	81
Figura 46. Partes del PLC s7-1200 .....	83
Figura 47. Data Sheet de sensor capacitivo PNP .....	85
Figura 48. Forma de instalación del sensor capacitivo tipo RELÉ .....	87
Figura 49. Sensor de sondas flotantes, tipo RELÉ. Instalado en el poso subterráneo.....	87
Figura 50. Sensor de presión, tipo RELÉ .....	89
Figura 51. Proceso controlado por TIA portal.....	90
Figura 52. Configuración del CPU 1214C .....	92
Figura 53. Proceso controlado por TIA portal.....	93
Figura 54. Interfaz para la creación de un FB .....	94
Figura 55. Interfaz para la creación de un FB .....	94
Figura 56. Programación en lenguaje ladder.....	95
Figura 57. Bloque de Función FB1.....	95
Figura 58. Condiciones para el arranque del motor 1.....	96
Figura 59. Condiciones para arrancar el motor 2 .....	97
Figura 60. Condiciones para el arranque del motor 3.....	98
Figura 61. Enlace del Tia Portal con PLCSIM .....	99

Figura 62. Entradas y salidas en PLCSIM.....	100
Figura 63. Interfaz de simulación en PLCSIM .....	101
Figura 64. Encendido del motor 1 en configuración estrella .....	102
Figura 65. Encendido del motor 1 en configuración triángulo .....	103
Figura 66. Encendido del motor 2 en configuración estrella .....	104
Figura 67. Encendido del motor 2 en configuración triángulo .....	105
Figura 68. Encendido del motor 3 en configuración estrella .....	106
Figura 69. Encendido del motor 3 en configuración triangulo .....	107
Figura 70. Fin del proceso al llenarse el reservorio final .....	108
Figura 71. Interfaz de conexión del VirtualMakTCP y el TIA Portal .....	109
Figura 72. Software VirtualMakTCP, representando el diagrama eléctrico del sistema .....	110

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Características del CPU Siemens S7-1200 .....	82
Tabla 2. Características de sensor capacitivo tipo PNP .....	85
Tabla 3. Características de sensor capacitivo tipo RELÉ .....	86
Tabla 4. Variables de entrada .....	91
Tabla 5. Variables de salida .....	91
Tabla 6. Costos de implementación .....	111

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existen lugares en los cuales la población no tiene fácil acceso al servicio de agua potable. Debido a ello, se organizan juntas administradoras de agua que con ayuda de alguna institución privada o estatal, implementan pozos subterráneos. De esta manera, obtienen el agua del subsuelo y abastecen del líquido elemento a toda la población. Un caso representativo es el del Asentamiento Humano Rinconada del Bosque Yanacoto, ubicado en el Km. 29.5 de la carretera central, Distrito de Lurigancho Chosica, que desde hace más de 15 años cuenta con un pozo subterráneo y su sistema de bombeo para el abastecimiento de agua a una población compuesta de aproximadamente 1500 familias.

Como se mencionó, junto al pozo subterráneo, existe un sistema de bombeo la cual permite impulsar el agua hasta el punto más alto de la zona para su distribución por gravedad y ductos hacia todas las viviendas. El modo de arranque de las bombas instaladas para el sistema de bombeo es totalmente manual, y hasta el día de hoy no se ha cambiado ni se ha hecho mejoras a este proceso.

Por tal motivo, en el presente proyecto se propone un diseño para mejorar el sistema de bombeo del agua y así sea automatizada mediante el uso de un controlador lógico programable (PLC). De esta manera se conseguirá hacer más eficiente el proceso de bombeo del agua y así como también la reducción del monto mensual del recibo de consumo respectivo.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

La problemática actual que presenta el proceso de bombeo de agua potable en el Asentamiento Humano Rinconada del Bosque Yanacoto, es que existe un sistema completamente manual. Por el cual es necesario la intervención del hombre para hacer funcionar eficientemente todo el proceso, desde la obtención, tratamiento, y distribución de este líquido esencial. Por tal motivo, en la actualidad hay seis personas que laboran como operadores de las diferentes etapas del proceso.

En la figura 1, se muestra el proceso de la obtención del agua, que consta de tres etapas:

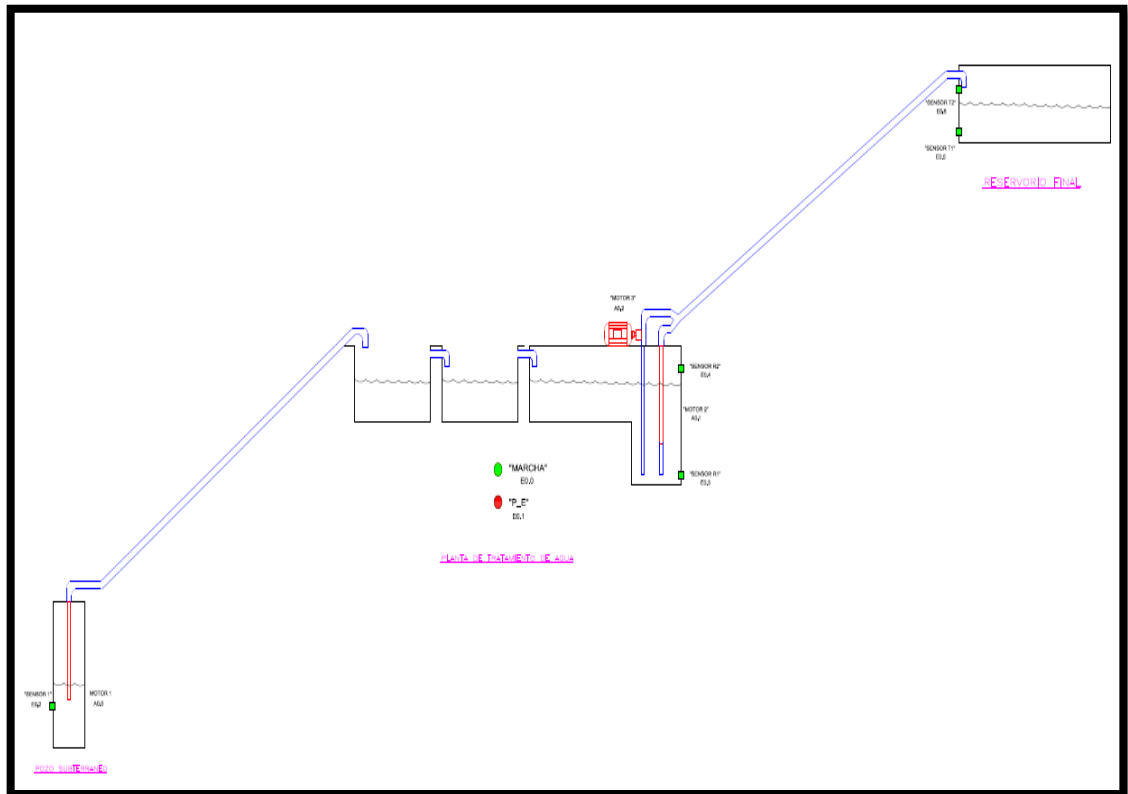


Figura 1. Plano del sistema proceso de bombeo.  
Fuente: Elaboración propia.

- a) Obtención del agua del pozo subterráneo.
- b) Tratamiento del agua.
- c) Llenado en el reservorio final.

Al ser manual el sistema de bombeo, hace que se necesite un operador en cada etapa del proceso. Un primer operador que se encuentra en la zona del pozo subterráneo es el encargado de encender la primera bomba, la cual sirve para impulsar el agua hasta la planta de tratamiento y de esta manera dar inicio al proceso. Un segundo operador está en la planta de tratamiento observando que el reservorio aquí presente, no sobrepase el nivel de llenado, y también se encargará de encender la segunda bomba que sirve para impulsar el agua hacia el reservorio final. En el reservorio final, también

se encuentra un tercer operador el cual observa el llenado del reservorio, y a la vez anuncia a los demás operadores a finalizar el proceso cuando el reservorio esté lleno.

Al terminar el proceso de bombeo, estos tres operadores apoyan a los tres operadores que son los encargados de realizar la distribución, hasta que el agua en el reservorio final se agote y nuevamente empiece el proceso de bombeo. Esto genera que en cada hogar de la población, solo cuenten con el servicio durante tres horas semanales y que los recibos mensuales sean altos.

Tener agua en el reservorio final las 24 horas del día, sin la necesidad de los operadores hará que solo se necesiten trabajadores para la etapa de distribución. Para este fin el presente proyecto propone dar solución al problema, diseñando un sistema automatizado de bombeo, mejorando el sistema ya existente con un controlador lógico programable (PLC) y sensores de nivel que se instalarán en los reservorios y de esta manera reducir la intervención humana en el proceso.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

El motivo por el cual llegué a investigar la problemática de esta localidad, es porque encontré que existe una baja eficiencia en el proceso de obtención y distribución del agua, puesto que el bombeo es manual. Por tal motivo la población solo cuenta con el servicio de agua, no más de tres horas por



semana. Además, la Junta Administradora incurre en gastos monetarios en el personal que operan las diferentes etapas del proceso.

El presente proyecto propone diseñar un prototipo que podría implementarse en el sistema ya existente, con la finalidad que el proceso de bombeo de agua sea automatizado, y de esta manera hacer más eficiente el sistema de bombeo y de esta manera proyectarse a mejorar el servicio de agua potable en la población. Asimismo, el principal motivo de la aplicación del sistema de bombeo elegido es porque actualmente la aplicación más eficiente en sistemas automatizados consiste en la utilización de controladores lógico programables.

### **1.3. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO**

#### **1.3.1. Delimitación espacial.**

El presente proyecto, se desarrolló en el Asentamiento Humano Rinconada del Bosque Yanacoto, que está ubicado en el kilómetro 29.5 de la carretera central, a la altura del Country Club el Bosque, y está dentro de la jurisdicción del Distrito de Lurigancho Chosica – Lima, Perú. Para una mejor ubicación, en la figura 2, se muestra una vista aérea de la población.



Figura 2. Vista aérea del AA.HH. Rinconada del Bosque Yanacoto.

Fuente: Google Earth, 2016.

### 1.3.2. Delimitación temporal.

El proyecto, se desarrolló en los meses de mayo a julio del año 2016.

## 1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.4.1. Problema general.

¿Cómo diseñar y simular un sistema automatizado de bombeo de agua potable utilizando PLC Siemens, en el Asentamiento Humano Rinconada del Bosque Yanacoto-Chosica?

### 1.4.2. Problemas específicos.

- ¿Cómo analizar el sistema actual de bombeo manual de agua potable ubicado en la población de Yanacoto?

- ¿Cómo diseñar un programa en el PLC S7-1200 de Siemens para automatizar el sistema de bombeo de agua?
- ¿Cómo realizar verificaciones de la lógica de control mediante simulación del algoritmo de control y automatización de bombeo?
- ¿De qué manera proponer cambios de instrumentos de medición electrónica en el sistema existente?

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. Objetivo General.**

Diseñar y simular un sistema automatizado de bombeo de agua potable utilizando PLC Siemens en el Asentamiento Humano Rinconada del Bosque Yanacoto-Chosica.

### **1.5.2. Objetivos Específicos.**

- Analizar el sistema actual de bombeo manual de agua potable ubicado en la población de Yanacoto.
- Diseñar y simular el control automatizado en el PLC S7-1200 de Siemens.
- Diseñar un programa en el PLC S7-1200 de Siemens para automatizar el sistema de bombeo de agua.
- Proponer cambios de instrumentos de medición electrónica en el sistema existente.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Existen trabajos de investigación nacionales e internacionales con problemas similares al presente proyecto, los cuales se menciona a continuación:

##### 2.1.1. Antecedentes nacionales.

- **Ojeda, C. (2012).** En su tesis para obtener el Título de Ingeniero Electrónico, titulada: Diseño de un sistema de automatización industrial para el sistema de bombeo de aguas acidas. De la “Pontificia Universidad Católica del Perú”.

Concluye que:

Un controlador lógico programable (PLC) marca Siemens se puede usar para desarrollar un sistema de automatización industrial que lo aplica a solucionar el problema del bombeo de aguas acidas en

la Compañía Minera Yanacocha,

En el del software Step 7 – Micro/Win se puede desarrollar lazos programados en lenguaje ladder las cuales realizan las operaciones requeridas para que el proceso se desarrolle de una manera exitosa.

- **Sánchez, J. (2011).** En su tesis para obtener el Título de Ingeniero Industrial, titulada: Diseño e implementación de un sistema de automatización para mejorar la producción de carretos en la empresa la saca del tornillo SRL. De la “ Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo – Perú”

Concluye que:

El sistema automatizado mejorara la producción de carreros en una fábrica de tornillos y en la cual demuestra que con el sistema logra reducir el tiempo de trabajo de 225 horas de trabajo a solo 150 horas en la producción.

Con este sistema automatizado hay un aumento de producción de 33.3%, y con esto demuestra que las utilidades de la empresa también se incrementan.

### **2.1.2. Antecedentes internacionales.**

- **García, I. y Nuñez D. (2007).** En su tesis para obtener el Título de Ingeniero Eléctrico, titulada: Propuesta de automatización de un

sistema de bombeo de agua potable. Del “Instituto Politécnico Nacional - Mexico”

Concluye que:

La implementación del PLC y los electroniveles al sistema de bombeo, ayudan a llevar a cabo un control más eficiente sin riesgos de fuga de agua en el llenado de la cisterna y el depósito, además evitan que las bombas operen en vacío. Otra ventaja que determino es que se permite una sincronización en el arranque y paro de las bombas ya sea por tiempo o de acuerdo al nivel del agua que se encuentra en la cisterna y en el depósito.

Por otro lado también concluye que el estudio económico que se realizó logro reducir en un 50% la mano de obra y permitió que el trabajo sea más sencillo al otro 50% del personal que se quedó laborando.

- **Castillo R. (2009).** En su tesis para obtener el Título de Ingeniero Eléctrico, titulada: Automatización del sistema de bombas de agua fría, de tejido Imperial S.A. De la “Universidad San Carlos de Guatemala”.

Concluye que:

La automatización del sistema de bombas de agua fría permite dar autonomía al arranque y paro de las bombas de agua fría, por medio de la aplicación de un control lógico programable (PLC) con el beneficio que estas no trabajen las veinticuatro horas diarias.

Con respecto al consumo de energía eléctrica concluye que la automatización de bombas de agua reduce el pago anual de energía con respecto al anterior sistema existente.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.**

Según Piedrahita (1991), la automatización es la utilización de técnicas y equipos para gobernar un proceso industrial en forma óptima y de manera automática lo cual aumenta la calidad del producto, la flexibilidad y a su vez la productividad.

En términos técnicos, automatización significa el funcionamiento automático de una maquina o conjunto de máquinas, encaminado a un fin único, lo cual permite realizar con poca intervención del hombre una serie de trabajos industriales o administrativos o de investigación.

El término automatización también se ha utilizado para describir sistemas no destinados a la fabricación en los que dispositivos programados o automáticos pueden funcionar de forma independiente o semi-independiente del control humano. [1]

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. [2]

### **2.2.1.1. Partes de un sistema automatizado.**

#### **a. Parte operativa.**

La parte Operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera. [1]

- **Detectores y Captadores.**

Como las personas necesitan de los sentidos para percibir, lo que ocurre en su entorno, los sistemas automatizados precisan de los transductores para adquirir información de:

- La variación de ciertas magnitudes físicas del sistema.
- El estado físico de sus componentes.

- **Accionadores o actuadores.**

El accionador o actuador es el elemento final de control que, en respuesta a la señal de mando que recibe, actúa sobre la variable o elemento final del proceso. Un accionador transforma la energía de salida del automatismo en otra útil para el entorno industrial de trabajo.

Los accionadores pueden ser clasificados en eléctricos, neumáticos e hidráulicos, y los más utilizados en la industria son:



Cilindros, motores de corriente alterna, motores de corriente continua, etc. Asimismo, son gobernados por la parte de mando, sin embargo, pueden estar bajo el control directo de la misma o bien requerir algún pre accionamiento para amplificar la señal de mando. En la figura 3 se muestra un tipo de actuador. [1]



Figura 3. Motor de corriente alterna.

Fuente: <http://goo.gl/5xdVR7>

#### **b. Parte de mando.**

La parte de mando suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado. [3]

- **Tecnologías o Lógicas cableadas.**

Con este tipo de tecnología, el automatismo se realiza interconectando los distintos elementos que lo integran. Su funcionamiento es establecido por los elementos que lo componen y por la forma de conectarlos. Esta fue la primera solución que se utilizó para crear autómatas industriales, pero presenta varios inconvenientes.

Los dispositivos que se utilizan en las tecnologías cableadas para la realización del automatismo se muestran en la figura 4, las cuales son: [1]

- Relés electromagnéticos.
- Módulos lógicos neumáticos.
- Tarjetas electrónicas.

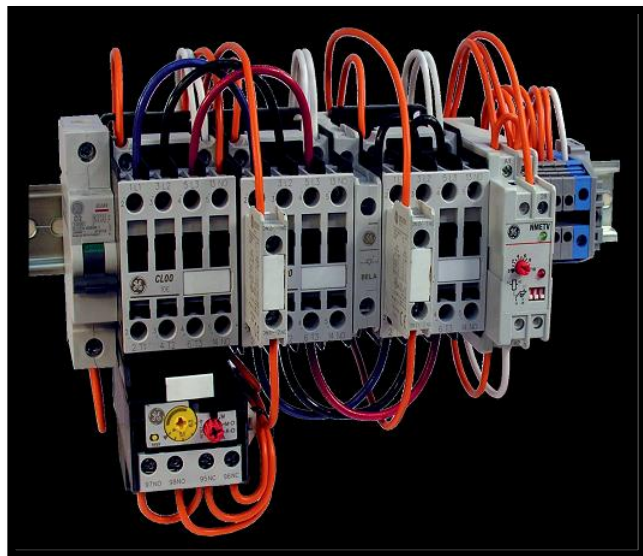


Figura 4. Modelo de lógica cableada.

Fuente: <http://goo.gl/QTliiM>

- **Tecnologías o Lógicas programadas.**

Los avances en el campo de los microprocesadores de los últimos años han favorecido la generalización de las tecnologías programadas. En la realización de automatismos. Los equipos utilizados para este fin son:

- Los ordenadores.
- Los autómatas programables.

El ordenador, como parte de mando de un automatismo presenta la ventaja de ser altamente flexible a modificaciones del proceso. Pero, al mismo tiempo, debido a su diseño no específico para su entorno industrial, resulta un elemento frágil para trabajar en entornos de líneas de producción.

Un autómata programable industrial es un elemento robusto diseñado especialmente para trabajar en ambientes de talleres, con casi todos los elementos del ordenador. [3]

#### **2.2.1.2. Principio de un Sistema Automático.**

Un elemento esencial de todos los mecanismos de control automático es el principio de realimentación, que permite al diseñador dotar a una máquina de capacidad de auto corrección. Un ciclo o bucle de realimentación es un dispositivo mecánico, neumático o electrónico que detecta una magnitud física como una

temperatura, tamaño o velocidad, la compara con una norma preestablecida, y realiza aquella acción pre programada necesaria para mantener la cantidad medida dentro de los límites de la norma aceptable. [4]

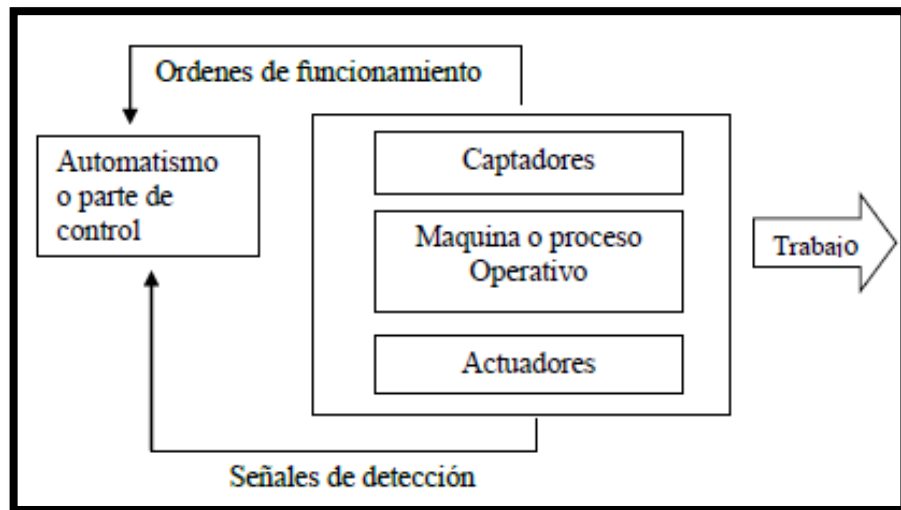


Figura 5. Secuencia de un sistema automático.

Fuente: Porras – Montenegro, (1991), Autómatas programables.

### 2.2.1.3. Tipos de automatización.

#### a. Automatización fija.

Se utiliza cuando el volumen de producciones muy alto, y por lo tanto se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Además de esto, otro inconveniente de la automatización fija es su ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado. [5]

La justificación económica para la automatización fija se encuentra en productos con grandes índices de demanda y volumen.

**b. Automatización programable.**

Se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a las variaciones de configuración del producto; esta adaptación se realiza por medio de un software. [5]

**c. Automatización flexible.**

Es más adecuada para un rango de producción medio. Estos sistemas flexibles poseen características de la automatización fija y de la automatización programada. Los sistemas flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre sí por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora. [5]

**2.2.1.4. Técnicas de automatización.**

Según la naturaleza del automatismo empleado puede hablarse de automatización mecánica, neumática, hidráulica, eléctrica y electrónica. Además existen técnicas mixtas que son combinaciones de las citadas y que, en la práctica son las más habituales. [6]

### a. Automatización mecánica.

Los sistemas mecánicos suelen ser complicados -por la abundancia de mecanismos- y de escasa flexibilidad. Por el contrario, la tecnología que regula su funcionamiento es relativamente accesible al personal poco calificado, por lo que se traduce en un montaje y mantenimiento económicos.

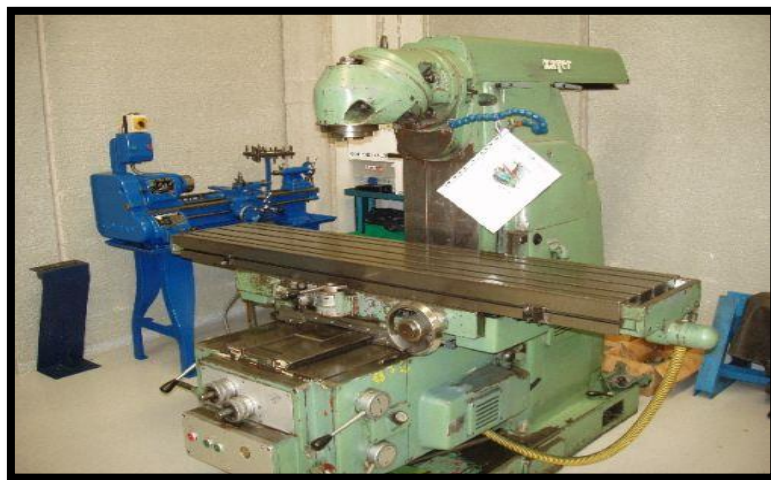


Figura 6. Fresadora Automática.

Fuente: <https://goo.gl/OZ6HxC>

Los mecanismos que lo componen son: ruedas dentadas, poleas para transmisión del movimiento, etc., para la conversión del movimiento rectilíneo en circular y viceversa; levas y palancas para la obtención de recorridos controlados, etc.

Los grandes problemas de la automatización mecánica es la longitud, en muchas ocasiones, de las cadenas cinemáticas y, por supuesto, la sincronización de movimientos en los órganos móviles.

Existe una gran variedad de automatismos mecánicos en la industria: desde las maquinas herramientas (tornos, fresadoras, limadoras), hasta relojes mecánicos, pasando por los telares, motores de combustión interna y toda máquina que formo parte de la revolución industrial. En la figura 6 se muestra un tipo de automatismo mecánico. [6]

#### **b. Automatización neumática.**

La técnica neumática admite infinidad de aplicaciones en el campo de la máquina herramienta, especialmente en los trabajos de fijación de piezas, bloqueo de órganos, alimentación de máquinas y movimiento lineal de sistemas que no requieren velocidades de actuación rigurosamente constantes. Prácticamente la totalidad de las automatizaciones industriales tienen, como elementos de mando, instalaciones neumáticas. Un ejemplo claro es de la máquina para neumáticos, tal como se muestra en la figura 7. [6]

Como principales ventajas del mando neumático cabe destacar:

- Sencillez de los propios sistemas de mando: cilindros, válvulas, etc.
- La rapidez de movimiento (respuesta) del sistema neumático.
- La economía de los sistemas neumáticos una vez instalados.



Figura 7. Automatismo neumático para llantas.

Fuente: <http://goo.gl/XOKnF5>

Como algunas desventajas tenemos:

- La instalación requiere un desembolso económico añadido a la propia automatización.
- El mantenimiento del estado del aire, ya que debe de mantenerse perfectamente limpio.

### **c. Automatización hidráulica.**

Prácticamente lo dicho para la automatización neumática vale para la hidráulica, aunque con algunas diferencias; por ejemplo, el mando hidráulico es más lento que el neumático, sin embargo es capaz de desarrollar más trabajo. La hidráulica se prefiere en sistemas que deban desarrollar más trabajo y no sea primordial la



velocidad de respuestas. Este tipo de mando lo encontraremos en prensas, diversas maquinas herramientas, y por supuesto, en el automóvil: frenos, dirección e incluso suspensión, tal como se muestra en la figura 8. [6]



Figura 8. Prensa hidráulica automática.

Fuente: <http://goo.gl/NBV8gg>

#### **d. Automatización electrónica.**

La llegada de la electrónica a la industria ha puesto una verdadera revolución y ha permitido que la automatización industrial de un paso de gigante. La base de este avance en la automatización ha sido el sistema digital, que ha desembocado en el ordenador y, naturalmente en el autómeta programable o controlador lógico

programable (PLC), que a continuación detallaremos más ampliamente. [6]

### **2.2.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.**

El controlador lógico programable más conocido en sus abreviaturas como PLC, se define como un equipo electrónico inteligente diseñado en base a microprocesadores, que consta de unidades o módulos que cumplen funciones específicas, tales como, una unidad central de procesamiento que se encarga de casi todo el control del sistema, módulos que permiten recibir información de todos los sensores y comandar todos los actuadores del sistema, además es posible agregarle otros módulos inteligentes para funciones de procesamiento y comunicación. [7]

Realiza funciones lógicas: series, paralelos, temporizaciones, contajes y otras más potentes como cálculos, regulaciones, etc. También se puede definir como una caja negra en la que existen unos terminales de entrada a los que se conectaran pulsadores, finales de carrera, detectores; unos terminales de salida a los que se conectaran bobinas de contactores, electroválvulas, lámparas, de tal forma que la actuación de estos últimos está en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado. [4]

El PLC es utilizado para automatizar sistemas eléctricos, electrónicos, neumáticos e hidráulicos de control discreto y análogo. Las múltiples funciones que pueden asumir estos equipos en el control, se debe a la diversidad de operaciones a nivel discreto y análogo con que dispone para realizar los programas lógicos sin la necesidad de contar con equipos adicionales. En la figura 9 se muestra físicamente un PLC Siemens. [7]



Figura 9. PLC Siemens S7-1200.

Fuente: Tecsup (2010). PLC 1 Programación y Aplicaciones.

### 2.2.2.1. Componentes de un PLC.

Un controlador lógico programable está constituido por un conjunto de tarjetas o circuitos impresos, sobre los cuales están ubicados componentes electrónicos integrados. Cuando el controlador es del tipo modular, las diferentes tarjetas que tienen funciones específicas, quedan alojadas en racks agrupadas

convenientemente para un funcionamiento en conjunto. Asimismo, todas las tarjetas están conectadas a través de elementos de bus, que son circuitos por donde fluye la información y generalmente se encuentran en la parte posterior. El controlador programable tiene la estructura típica de muchos sistemas programables, como por ejemplo una microcomputadora. La estructura básica del hardware de un controlador programable propiamente dicho está constituida por:

- a. Fuente de alimentación.
- b. Unidad de procesamiento central (CPU).
- c. Módulos o interfaces de entrada/salida (E/S).
- d. Módulos de memoria.

En la figura 10, se muestra un diagrama de bloques de la estructura básica de un automatismo gobernado por un PLC, y a continuación se describe con mayor detalle cada una de las partes del controlador programable. [7]

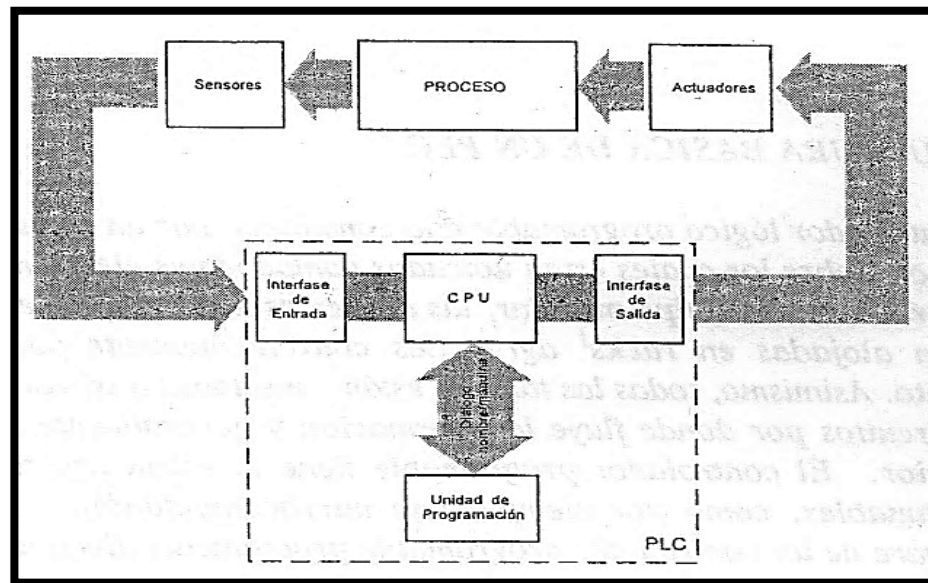


Figura 10. Diagrama de bloques de un PLC gobernando un proceso.

Fuente: Fuente: Tecsup (2010). PLC 1 Programación y Aplicaciones.

#### a. Fuente de alimentación.

La función de la fuente de alimentación en un controlador, es suministrar la energía eléctrica a la CPU y demás tarjetas según la configuración del PLC.

La CPU dispone de una fuente de alimentación interna que suministra energía eléctrica a la CPU, los módulos de señales, la Signal Board y los módulos de comunicación, así como otros equipos consumidores de 24 V DC.

La CPU provee una alimentación de sensores de 24 V DC que puede suministrar 24 V DC a las entradas y bobinas de relé de los módulos de señales, así como a otros equipos consumidores. Si los requisitos de corriente de 24 V DC exceden la capacidad de la

alimentación de sensores, es preciso añadir una fuente de alimentación externa de 24 V DC al sistema.

Si se requiere una fuente de alimentación externa de 24 V DC, vigile que no se conecte en paralelo con la alimentación de sensores de la CPU. Para aumentar la protección contra interferencias, se recomienda conectar los cables neutros de las distintas fuentes de alimentación. [7]

#### **b. Unidad de procesamiento central (CPU).**

Es la parte más compleja e imprescindible del controlador programable, que en otros términos podría considerarse el cerebro del controlador.

Tal como se muestra en la figura 11, unidad central está diseñada a base de microprocesadores y memorias; contiene una unidad de control, la memoria interna del programa RAM, temporizadores, contadores, memorias internas del tipo relé, imágenes del proceso E/S, etc. Su misión es leer los estados de las señales de las entradas, ejecutar el programa de control y gobernar las salidas, el procesamiento es permanente y a gran velocidad.

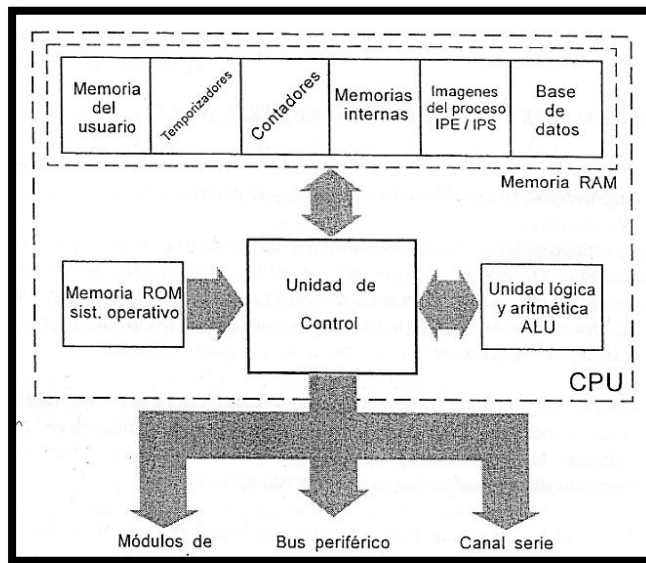


Figura 11. Diagrama de bloques de las unidades funcionales de la CPU.

Fuente: Fuente: Tecsup (2010). PLC 1 Programación y Aplicaciones.

Otra de las funciones es, antes de la elaboración del programa, depositar los estados de señal de todas las entradas en una memoria denominada imagen del proceso de entradas, y durante la ejecución del programa, guardar los resultados de las combinaciones en otra memoria denominada imagen del proceso de salida.

La CPU al igual que para las computadoras, se pueden clasificar de acuerdo a la capacidad de su memoria y las funciones que pueden realizar, además de su velocidad de procesamiento. El tiempo de lectura del programa está en función del número y tipo de instrucciones, y por lo general es del orden de los milisegundos, este tiempo tan pequeño significa, que cualquier modificación de estado en una entrada, genera casi simultáneamente en una señal de salida. Un ejemplo de CPU se muestra en la figura 12. [7]

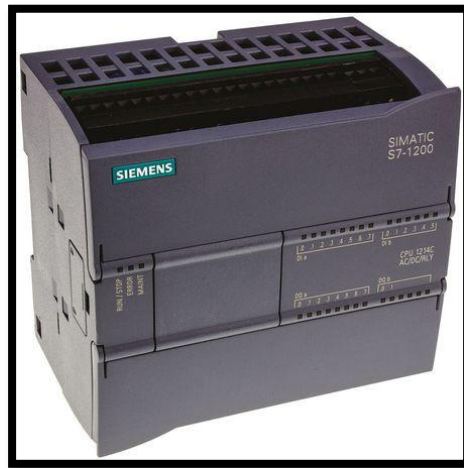


Figura 12. CPU de PLC Siemens S7-1200.

Fuente: Manual del Sistema, S7-1200, (2019).

### c. Módulos de interfaces de entrada y salida (E/S).

Los módulos de entrada o salida son los que proporcionan el vínculo entre la CPU del controlador programable y los dispositivos de campo del sistema. A través de ellos se origina el intercambio de información ya sea con la finalidad de la adquisición de datos o la del mando para el control de máquinas del proceso.

Los módulos de entrada, transforman las señales de entrada de procedencia y naturaleza diversa que se transmiten hacia el controlador, a niveles permitidos por la CPU. Mediante el uso de un acoplador óptico, los módulos de entrada aíslan eléctricamente la sección lógica, protegiéndolo contra tensiones peligrosamente altas, ruidos eléctricos y señales parasitas. Finalmente, proporcionan el filtrado de las señales precedentes de los diferentes captadores ubicados en las máquinas.



Los módulos de salida, permiten que la tensión llegue a los dispositivos de salida. Con el uso del acoplador óptico y con un relé de impulso, se asegura el aislamiento de los circuitos electrónicos del controlador, y se transmiten las órdenes hacia los captadores de mando. [7]

- **Módulos de entrada discreta.**

Se usan como interface entre los dispositivos externos denominados también captadores y la CPU del PLC. Estos captadores son los encargados de la adquisición de datos del sistema, que para este caso solo son del tipo discreto, además, tiene la característica de comunicar dos estados lógicos, activados o desactivados, o lo que es lo mismo permitir el paso o no de la señal digital (1 ó 0). Los captadores pueden ser del tipo manual (botones pulsadores, conmutadores, selectores, etc.) o del tipo automático (finales de carrera, detectores de proximidad inductivos o capacitivos, interruptores de nivel, etc.).

Estos módulos están diseñados mediante una estructura de cuatro funciones operacionales para el sistema del controlador, ellos son:

- **Adquisición:** Consiste en el cableado de los captadores desde la maquina o proceso hacia el módulo de entrada.
- **Acondicionamiento de la señal:** establece los niveles de tensión de entrada de la máquina, a niveles lógicos

convenientes, mediante resistencias limitadoras o, puentes rectificadores para el caso en que la adquisición es en alterna.

- **Señalización:** Se disponen de lámparas indicadoras leds, que permiten la función de diagnóstico más rápido. La tensión para el indicador puede provenir del sistema o del mismo controlador.
- **Aislamiento:** Las señales son aisladas eléctricamente como físicamente mediante dispositivos electrónicos opto-acopladores.

Todos los módulos tienen también circuitos de filtrado, que suprimen las señales parasitas perjudiciales al funcionamiento del controlador. En las figuras 13 y 14 se presentan los circuitos eléctricos equivalentes y elementales de los módulos de entrada discreta para DC y AC respectivamente. Ambos tipos de interface tienen el mismo principio, a diferencia de los de alterna que incluye una etapa previa de rectificación, allí se puede visualizar las cuatro etapas operaciones empezando por la adquisición de la señal, luego es acondicionada por un rectificador o resistencia limitadora, seguidamente es señalizada mediante un led y acoplada ópticamente; obsérvese también que cuenta con una impedancia para el filtrado.

Es importante señalar, que la mayoría de fabricantes de controladores diseñan estos módulos en varias alternativas,

principalmente en: la cantidad de canales o terminales de conexión que disponen, el nivel de tensión y la corriente que manejan. Con el objetivo de adaptar al controlador, las diferentes magnitudes de señales de los procesos industriales, y de este modo hacerlos más flexibles. [7]

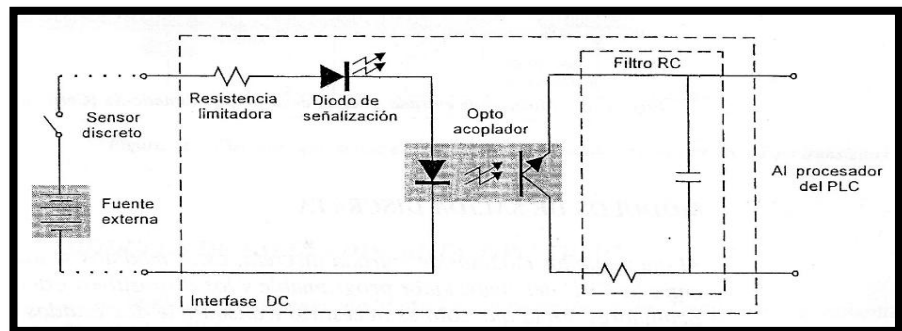


Figura 13. Interface para entrada discreta en DC.

Fuente: Fuente: Tecsup (2010). PLC 1 Programación y Aplicaciones.

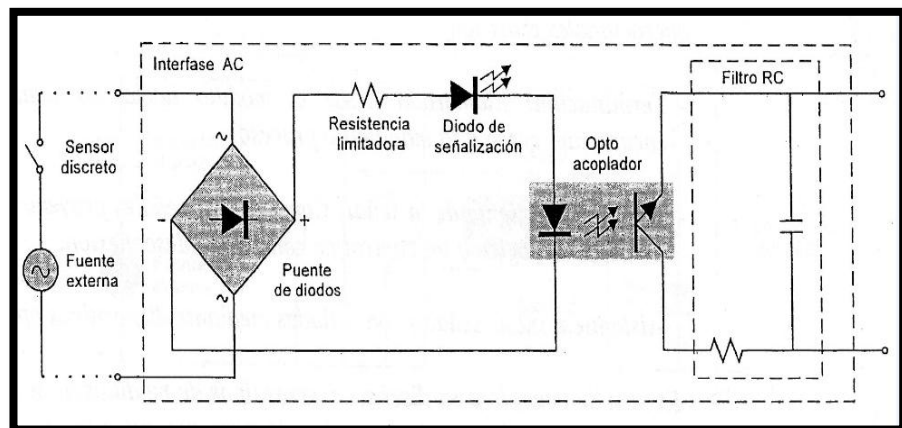


Figura 14. Interface para entrada discreta en AC.

Fuente: Tecsup (2010). PLC 1 Programación y Aplicaciones.

- **Módulos de salida discreta.**

Al igual que los módulos de entrada discreta, estos módulos se usan como interface entre la CPU del controlador programable y

los dispositivos externos denominados actuadores, en la que solo es necesario transmitirle dos estados lógicos, activado o desactivado. Los actuadores que se conectan a estas interfaces pueden ser: contactores, relés, lámparas indicadoras, electroválvulas, displays, anunciadores, etc. La estructura de estos módulos contempla también las cuatro funciones operacionales estas son:

- **Terminación:** Alumbrado desde el modulo hacia los actuadores que se encuentran cerca de la maquina o proceso.
- **Acondicionamiento de la señal:** Convierte las señales provenientes de la CPU, de un nivel lógico a un control de conexión y desconexión.
- **Aislamiento:** Las señales son aisladas mediante dispositivos opto-acopladores.

Existen de acuerdo a su diseño, diversos tipos de módulos de salida, donde cada uno de ellos se destaca según el tipo de corriente que maneja. Así, los del tipo transistor para corriente continúa, mientras que los del tipo triac y relé para corriente alterna. [7]

- **Módulos de salida discreta tipo transistor.**

Su principio de funcionamiento es en base a transistores, lo que significa una constitución íntegramente en estado sólido con

características para trabajar en corriente continua (DC) de larga vida útil y con bajo nivel de corriente, tal como se muestra en la figura 15.

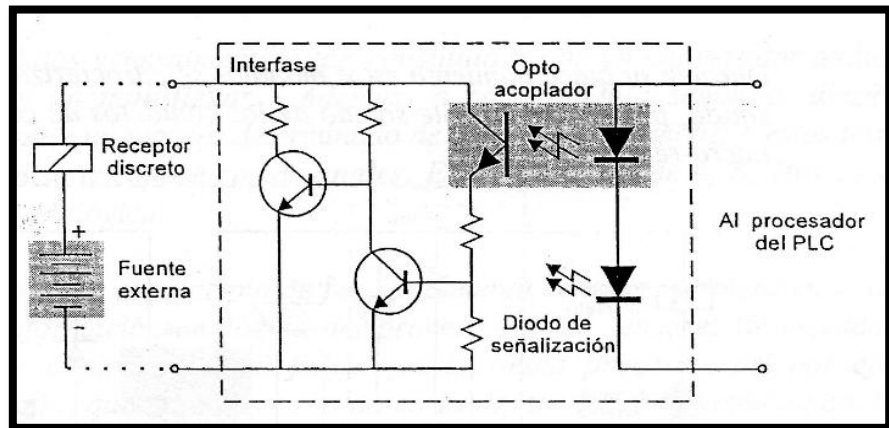


Figura 15. Circuito equivalente de una interface de salida discreta en DC (tipo transistor).

Fuente: Tecsup (2010). PLC 1 Programación y Aplicaciones.

- **Módulos de salida discreta tipo triac.**

Estas interfaces funcionan mediante la conmutación de un triac, son igualmente en estado sólido y se usan para manejar señales en corriente alterna, tal como se muestra en la figura 16.

[7]

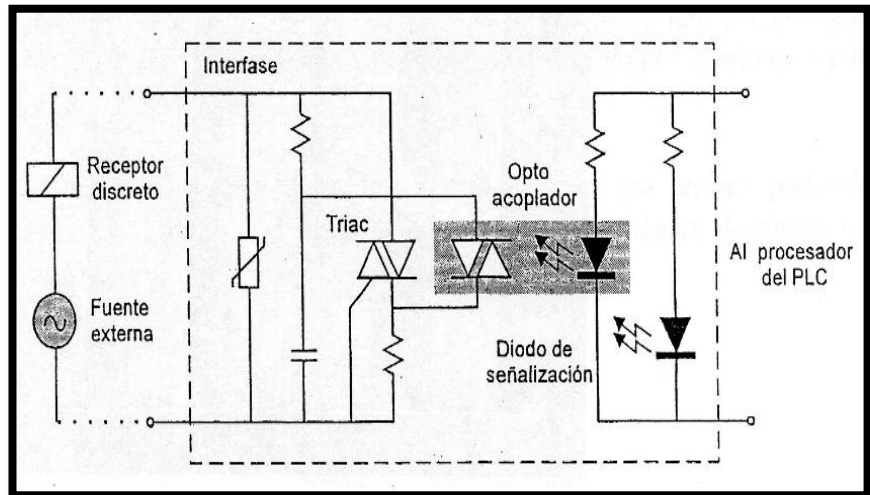


Figura 16. Circuito equivalente de una interfase de salida discreta en AC (tipo TRIAC).

Fuente: Tecsup (2010). PLC 1 Programación y Aplicaciones.

- **Módulos de salida discreta tipo relé.**

Estos módulos a diferencia de los anteriores, están compuestos por dispositivos electrónicos y un micro-relé electromagnético de conmutación, tal como muestra la figura 17. Su campo de acción lo permite trabajar en AC y DC y con diferentes niveles de tensión, con la ventaja de manejar corrientes más elevadas y con el inconveniente de una corta vida útil debido al desgaste de la parte móvil de los contactos.

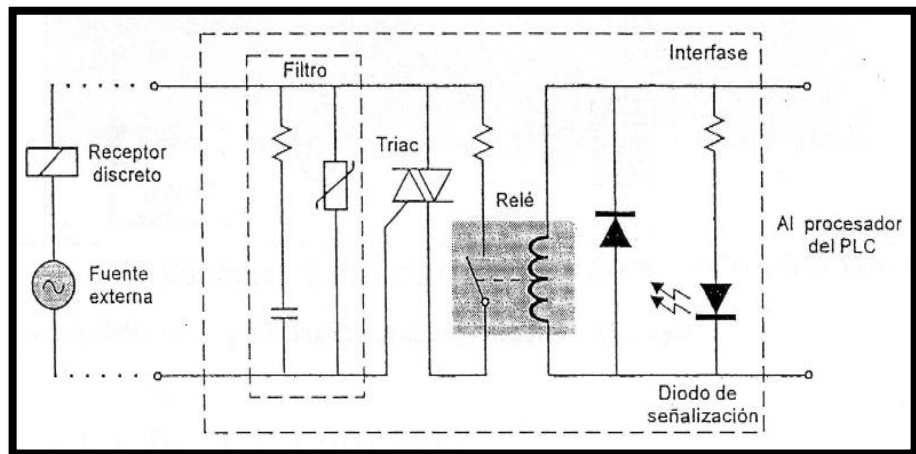


Figura 17. Circuito equivalente de una interfase de salida discreta en AC (tipo Relé).

Fuente: Tecsup (2010). PLC 1 Programación y Aplicaciones.

Durante su funcionamiento estos módulos se caracterizan respecto a los de estado sólido, por el reconocible sonido de los contactos de conmutación que emiten los micro-reles. [7]

#### d. Módulos de Memoria.

Similar a la memoria de cualquier sistema microinformático, la memoria del autómatas es la parte donde se almacena toda la información (datos, constantes, instrucciones, etc.) necesaria para el correcto funcionamiento del sistema de control. Los datos que contienen las memorias internas del PLC son básicamente de dos tipos: [8]

- Datos del proceso.
  - Señales provenientes de la planta o hacia esta; es decir, las entradas y salidas del PLC respectivamente.
  - Variables internas (marcas) de bit y de palabra.

- Datos alfanuméricos y constantes.
- Datos de control.
  - Instrucciones de usuario (programa de usuario).
  - Datos de configuración del propio PLC (modo de funcionamiento, número de entradas y salidas conectadas, etc.).

Dentro de las actuales tecnologías de fabricación de circuitos integrados de memorias existentes en el mercado, podemos realizar una clasificación como la siguiente:

- **Memoria RAM (Random Access Memory) o memoria de acceso aleatorio.**

Este tipo de memoria sirve para almacenar el programa del usuario durante su elaboración y prueba, donde es posible modificarlo constantemente. El contenido de la memoria RAM, ya sea la del módulo que se conecta o la que posee la CPU, es volátil, es decir, su contenido se pierde si el suministro de energía proporcionado por la fuente de alimentación de desconecta. Por consiguiente, para evitar perder la información ante fallas del suministro, es necesario salvaguardarlo mediante una batería de larga duración que se conecta a la CPU, estas fuentes son disponibles por todos los tipos de controladores y tienen una duración que varía entre 2 a 5 años, dependiendo del tipo de CPU. Es importante por consiguiente,



que esta batería se mantenga en perfectas condiciones durante todo el tiempo de funcionamiento del PLC. [8]

- **Memoria EPROM (Enable Programmable Read Only Memory) o memoria de solo lectura programmable y borrable.**

Es un módulo de memoria conectable del tipo **no volátil**, es decir, la información contenida se conserva aun cuando se pierde el suministro de energía. Se utiliza normalmente para guardar programas definitivos ya probados y debidamente depurados, además pueden ser transportados y utilizados en cualquier controlador de su marca y tipo.

Para grabar este módulo es necesario utilizar aparatos de programación destinados también para este propósito, mientras que para borrarlos deben ser sometidos a rayos ultravioletas durante 15 a 45 minutos. Por los tanto, se requiere de una unidad para la escritura y otra para el borrado. [7]

- **Memoria EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) o memoria programmable y borrable eléctricamente.**

Este módulo tiene las mismas características que el módulo EPROM, con la única diferencia que el borrado se realiza eléctricamente, es por ello que se denomina memoria de solo lectura, eléctricamente programable y borrable. Un ejemplo de memoria en el PLC se muestra en la Figura 18. [7]

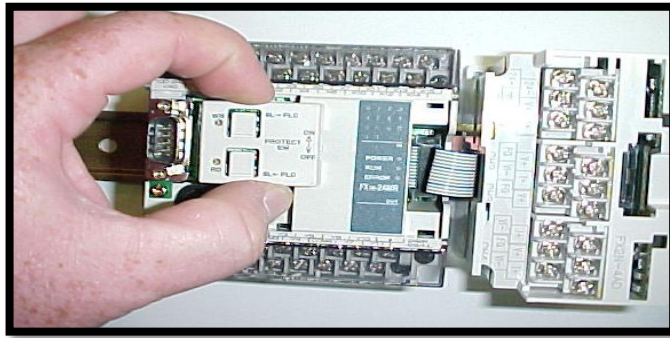


Figura 18. Ubicación de la memoria EEPROM en PLC Mitsubishi.

Fuente: <http://goo.gl/h6cmP7>.

### 2.2.2.2. Programa, programación y lenguajes de programación.

Desde el punto de vista del procesador, un programa es un conjunto de instrucciones o proposiciones bien definidas que le dicen lo que tiene que hacer. Cada instrucción le indica:

- Que operación realizara a continuación.
- De donde obtendrá os datos que necesita para realizarla.
- Donde guardara los resultados de la operación.

Desde el puntos de vista del usuario un programa son las especificaciones de un conjunto de operaciones que debe llevar a cabo el computador para lograr resolver una determinada tarea.

Un programa se escribe en un lenguaje de programación, estos lenguajes permiten simplificar la creación de programas debido a su fácil descripción de las instrucciones que ha de ejecutar el procesador; en algunos casos, agrupando varias instrucciones y dando un solo nombre al conjunto, de tal forma que la lista de operaciones se reduce

considerablemente, resultando fácil la comprensión y resolución de programas. También varios cientos de instrucciones simples se pueden expresar con una lista de unas cuantas líneas. [7]

En conclusión, resumiendo estos tres conceptos podemos decir: un programa se escribe en un lenguaje de programación y a la actividad de expresar un algoritmo en forma de programa se le denomina programación.

A menudo, el lenguaje de programación se denomina software de programación cuando se emplea un término genérico, a fin de distinguirlo del hardware.

#### **a. Clasificación de los programas.**

Parte del programa lo escriben los usuarios para ejecutar tareas que desean automatizar, pero además existen otros programas ya escritos que permiten procesar los programas del usuario. A continuación, se definirán estos dos tipos de programas. Gráficamente la figura 19 muestra la clasificación de los programas.

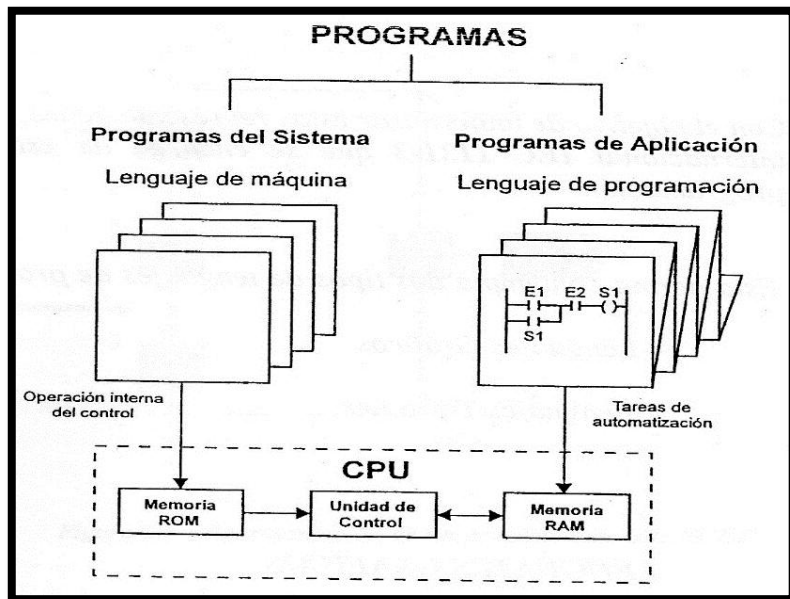


Figura 19. Tipos de programas utilizados por el PLC.

Fuente: Tecsup (2010). PLC 1 Programación y Aplicaciones.

- **Programas del sistema.**

Existen cierto número de otros programas que proporcionan servicios vitales o a los programas del usuario, esto es, realizan funciones operativas internas del controlador; estos programas, incluyendo los transductores de lenguaje reciben la denominación colectiva de programas de sistema o software del sistema. Un elemento notable de este es el sistema operativo, cuyos servicios incluyen el manejo de los dispositivos de entrada y salida del PLC, el almacenamiento de la información durante largos periodos, organizar el procesamiento de los programas del usuario o aplicación, etc.

Estos programas están almacenados en memoria de EPROM dentro de la CPU, por lo tanto no se pierden ni alteran en caso de pérdida de alimentación al equipo. El usuario no tiene acceso a ellos. [7]

- **Programas de aplicación o del usuario.**

Es el conjunto de instrucciones o proposiciones que programa el usuario, con el fin de resolver tareas de automatización específica. Para ello, el usuario escribe el programa de acuerdo a la representación del lenguaje de programación que mejor se adapte a su trabajo, o en todo caso tenga un mejor dominio. Es importante señalar, que algunos fabricantes no emplean todos los tipos de representaciones de los lenguajes de programación, no obstante, el usuario tendrá que adaptarse a la representación que se disponga.

**b. Representación de los lenguajes de programación.**

En la actualidad cada fabricante diseña su propio lenguaje de programación, lo que significa, que existe una gran variedad comparable con la cantidad de PLCs que hay en el mercado.

Las formas que adopta el lenguaje de programación usado para realizar programas se denomina representación del lenguaje de programación.

Hasta el momento existen tres tipos de representaciones como las más difundidas a nivel mundial, las cuales cada fabricante la(s) emplea para su programación, estas son:

- Lista de instrucciones.
- Plano de funciones.
- Diagrama de contactos o plano de contactos.

Es obvio, que la gran diversidad de lenguajes de programación da lugar a que cada fabricante tenga su propia representación, originando cierta incomodidad al usuario cuando programa más de un PLC.

Con el objetivo de uniformizar estas representaciones, se ha establecido una norma internacional IEC 1131-3 que se encarga de estandarizar los lenguajes de programación. [7]

Esta norma contempla dos tipos de lenguajes de programación:

- Lenguajes gráficos.
- Lenguajes textuales.

#### **b.1. Lenguajes gráficos.**

Se denomina lenguaje grafico a la representación basada en símbolos gráficos, de tal forma que según la disposición en que se encuentran cada uno de estos símbolos y en conformidad a su sintaxis que lo gobierna, expresa una logia de mando y control. Dentro de ellos tenemos:

- **Carta de funciones secuenciales o grafcet.**

El grafcet es una representación de análisis gráfico donde se establecen las funciones de un sistema secuencial. Este lenguaje consiste en una secuencia de etapas y transiciones, asociadas respectivamente con acciones y condiciones, tal como se muestra en la figura 20.

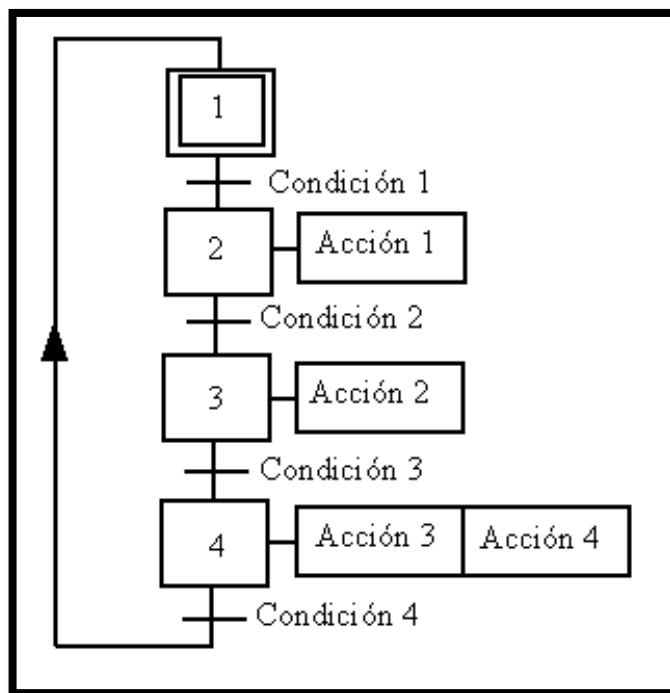


Figura 20. Representación de un Programa Grafcet.

Fuente: Tecsup (2010). PLC 1 Programación y Aplicaciones.

Las etapas representan las acciones a realizar y las transiciones las condiciones que deben cumplirse para ir desarrollando acciones. La Etapa-Transición es un conjunto indisociable.

- **Plano de funciones.**

Es una representación gráfica orientada a las puertas lógicas AND, OR y sus combinaciones. Las funciones individuales se representan con un símbolo, donde su lado izquierdo se ubica las entradas y en el derecho las salidas. Los símbolos usados son iguales o semejantes a los que se utilizan en los esquemas de bloques en electrónica digital, tal como se muestra en la figura 21. [8]

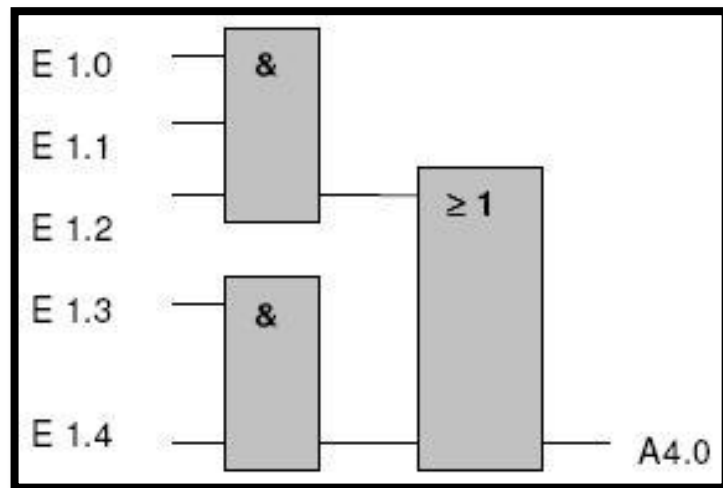


Figura 21. Representación de una puerta lógica AND y OR, utilizada en plano de funciones

Fuente: Tecsup (2010). PLC 1 Programación y Aplicaciones.

- **Diagrama de contactos o plano de funciones.**

Es la representación gráfica que tiene cierta analogía a los esquemas de contactos según la norma Nema (USA).

Su estructura obedece a la semejanza que existe con los circuitos de control con lógica cableada, es decir, utiliza la



misma representación de los contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados, con la diferencia que su interpretación es totalmente diferente, tal como muestra la figura 22.

Además de los simples contactos que dispone, existen otros elementos que permiten realizar cálculos aritméticos, operaciones de comparación, implementar algoritmos de regulación, etc. Su gran difusión se debe por facilitar el trabajo a los usuarios. [7]

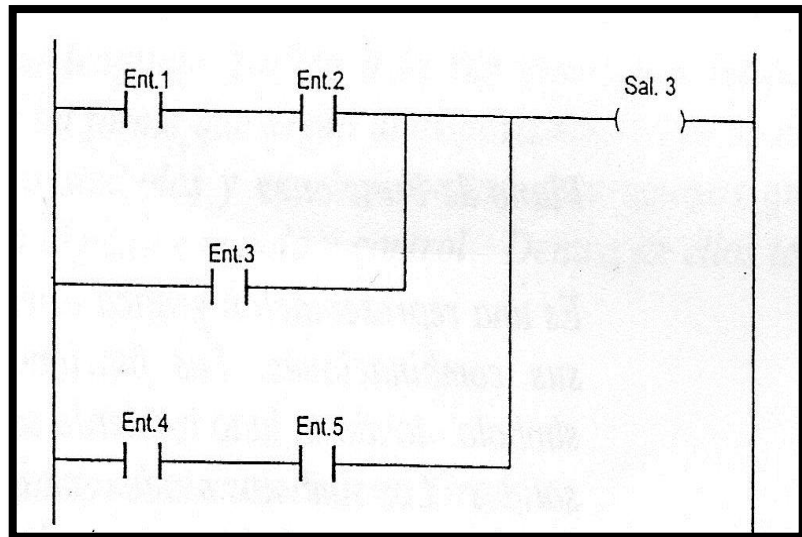


Figura 22. Representación de un programa en diagrama de contactos (ladder).

Fuente: Tecsup (2010). PLC 1 Programación y Aplicaciones.

## **b.2. Lenguajes textuales.**

Este tipo de lenguajes se refiere básicamente al conjunto de instrucciones compuesto de letras, códigos y números de acuerdo a una sintaxis establecida.

Se considera un lenguaje de menor nivel que los gráficos y por lo general se utilizan para programar pequeños PLCs cuyos programas no son muy complejos, o para programar instrucciones no programables en modo gráfico.

Existen dos lenguajes diferentes en nivel y tipo de aplicación, ellos son:

- **Lista de instrucciones.**

Son instrucciones del tipo booleanas, utilizando para su representación letras y números, tal como se muestra en la figura 23.

Dado que se usan abreviaturas nemotécnicas, no se requiere gran memoria para tareas de automatización.

La desventaja radica en la magnitud del trabajo que es necesario para su programación, especialmente si el programa consta de unos cientos de instrucciones.

Siemens (Simatic)	Telemecanique	General Electric
U E0.1	L I0.01	LD %I0001
U E0.2	A I0.02	AND %I0002
O E0.3	O I0.03	OR %I0003
= A3.1	= O3.01	OUT %Q0031

Figura 23. Representación de un programa en lista de instrucciones para diferentes marcas de PLC.

Fuente: Tecsup (2010). PLC 1 Programación y Aplicaciones.

- **Texto estructurado.**

Es un lenguaje del tipo booleano de alto nivel y estructurado, incluye las típicas sentencias de selección (if-then-else) y de interacción (for,while y repeat), además de otras funciones específicas para aplicaciones de control.

Su uso es ideal para aplicaciones en las que se requiere realizar cálculos matemáticos, comparaciones, emular protocolos, etc. [7]

**c. Estructuras de programación.**

- **Programación lineal.**

Se emplea para aplicaciones simples de automatización, su procesamiento es cíclico o secuencial y es suficiente programar las diferentes instrucciones en un solo bloque o sección de programación.

Tal como se muestra en la figura 24, un procesamiento cíclico o secuencial, consiste en la lectura, interpretación y ejecución de instrucción por instrucción respetando el orden en que se han programado, salvo las instrucciones de salto. Para ejecutar las instrucciones se utilizan informaciones procedentes de la imagen de proceso de entradas (IPE), memorias internas, memorias intermedias, así como los datos actuales de los temporizadores y contadores. Los resultados se escriben en la imagen de proceso de salida (IPS). [7]

Después de la ejecución del programa se corre un ciclo de datos, esto significa el proceso durante el cual los datos de la IPS se transfieren a los módulos de salida, y simultáneamente, se transfieren a la IPE los datos actuales de los módulos de entrada. Con esta IPE actualizada, vuelve a lanzarse la ejecución del programa, lo que significa repetir todo el proceso desde el inicio.

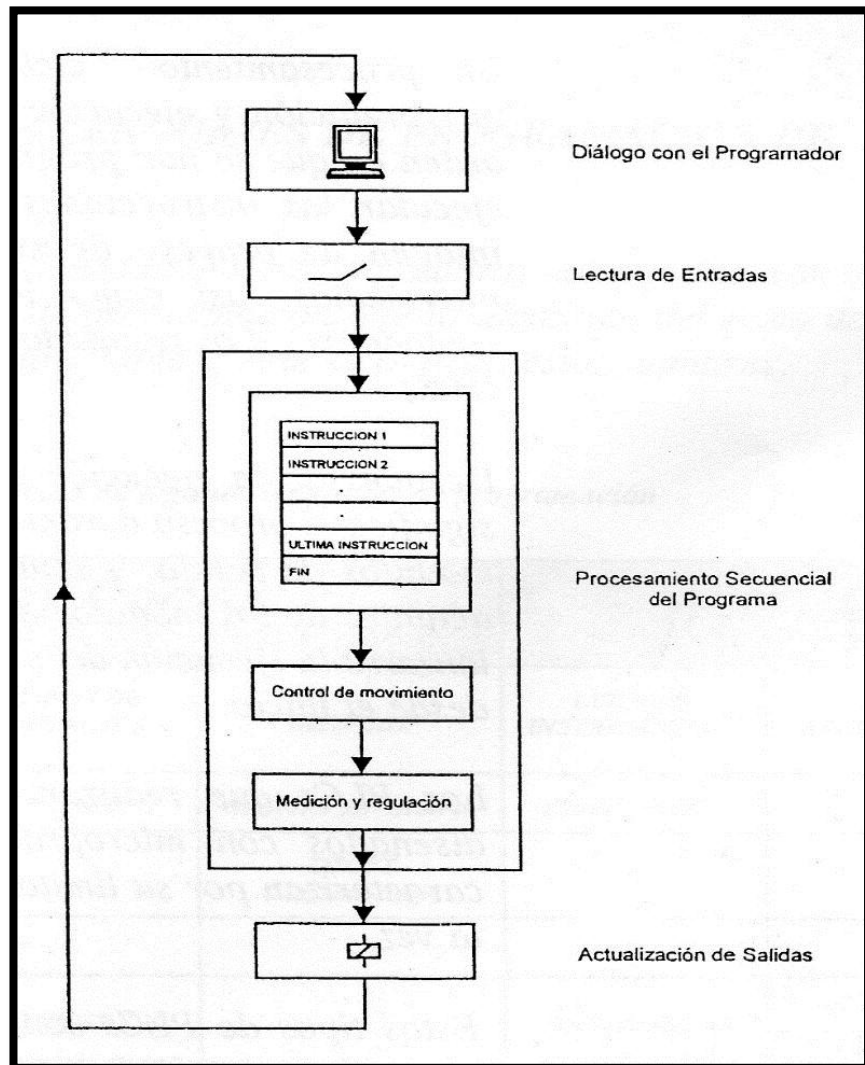


Figura 24. Programación secuencial.

Fuente: Tecsup (2010). PLC 1 Programación y Aplicaciones.

- **Programación estructurada.**

Cuando se desea programar tareas de automatización muy complejas donde utilizar una programación lineal resulta demasiado laborioso, es conveniente en este caso dividir el problema en partes, de tal forma, que interpretándolo y resolviéndolo en forma parcial mediante bloques y al final unir este conjunto de programas en uno solo, resulta significativamente más fácil para el usuario.

A esta manera de programación se le conoce como programación estructurada, que consiste en la división del programa de aplicación en bloques que se caracterizan por una independencia funcional, donde cada bloque del programa realiza una tarea específica claramente definida, tal como se muestra en la figura 25.

La programación estructurada optimiza el tiempo de escaneo ya que no se ejecutan todos los bloques en cada ciclo de barrido, ejecutándose solo los que están en actividad en el momento dado.

Las ventajas que se obtienen programando en forma estructurada son:

- La comprensión, solución, simulación y pruebas es mucho más fácil cuando un problema muy complejo es tratado por partes.

- El diagnóstico de fallas y por ende su solución es también más fácil, dado que una vez identificado el bloque del programa donde se encuentra la falla, su corrección resulta más rápida que si se afrontara el programa global.
- Los programas parciales pueden ejecutarse independientemente por equipos de programadores, cada grupo elaborando bloques individuales; además se pueden usar reiteradamente durante el escaneo del programa, o formar parte de otro programa de aplicación.
- Se emplea mejor la capacidad de la memoria dado que pueden llamarse los bloques de programas las veces que se requiera sin que se tenga que programar repetidas veces.
- Optimización del tiempo de barrido.

Por otro lado, dependiendo del tipo de procesador que disponga el PLC la programación estructurada puede aprovecharse con menor o mayor eficiencia. [7]

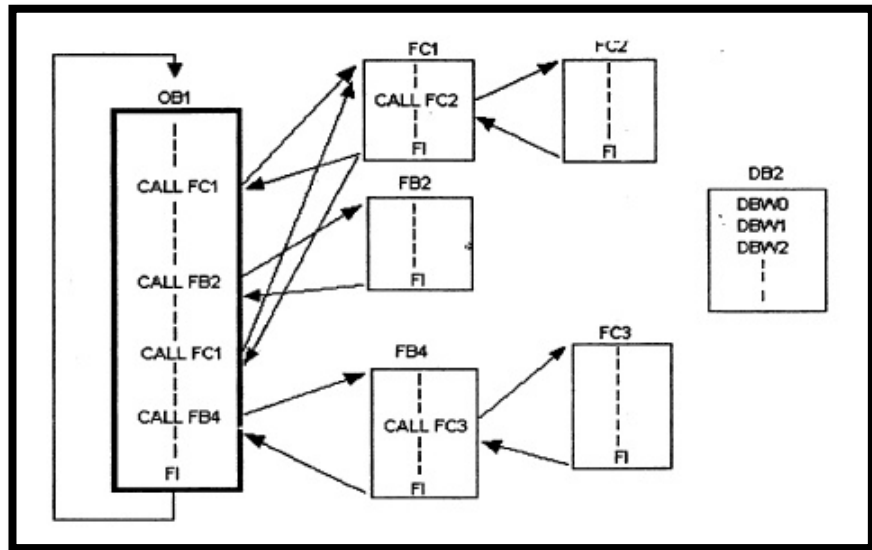


Figura 25. Programación estructurada. OB: módulo de organización, FC: módulo de programa, FB: módulo funcional, DB: módulo de datos.

Fuente: Tecsup (2010). PLC 1 Programación y Aplicaciones.

### 2.2.3. SISTEMAS DE BOMBEO

Un sistema de bombeo de agua, se encarga de transportar, el agua de un lugar a otro de una manera sencilla, para su posterior utilización.

[9]

#### 2.2.3.1. Características de los sistemas de bombeo

Antes de determinar el tamaño de un sistema de bombeo de agua, es necesario entender los conceptos básicos que describen las condiciones hidráulicas de una obra. Como el tamaño del sistema está en relación directa con el producto de la carga dinámica total (CDT), y el volumen diario necesario. La carga dinámica total es la suma de la carga estática (CE) y la carga dinámica (CD): [9]

### a. Carga estática.

La primera parte, la carga estática, puede obtenerse con mediciones directas. Se trata de la distancia vertical que el agua se desplaza desde el nivel de abatimiento del pozo hasta la altura en que se descarga el agua. La carga estática es entonces la suma del abatimiento, el nivel estático y la altura de la descarga.

Todos los pozos experimentan el fenómeno de abatimiento cuando se bombea el agua, esta es la distancia que baja el nivel del agua debido a la constante extracción de agua. La figura 26 muestra estos componentes hidráulicos que conforman la carga estática.

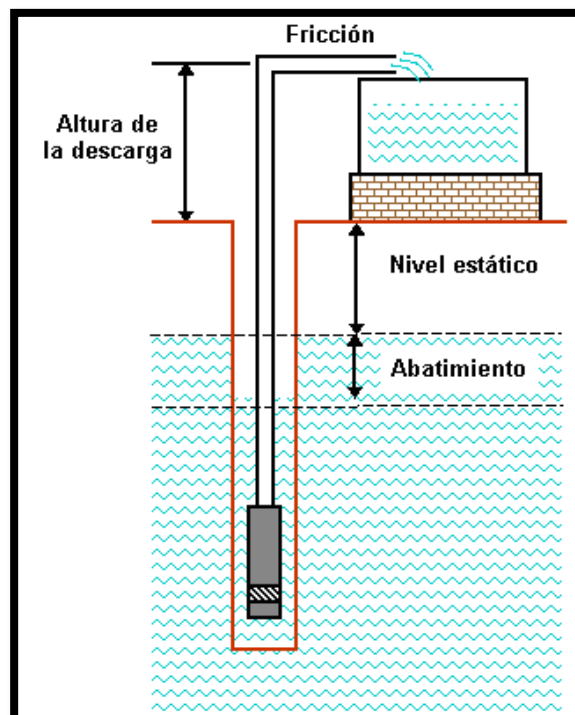


Figura 26. Características y componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua.

Fuente: García (2007). Propuesta de automatización de un sistema de bombeo de agua potable



## **b. Carga dinámica (fricción)**

La carga dinámica es el incremento en la presión causado por la resistencia al flujo al agua debido a la rugosidad de las tuberías y componentes como codos y válvulas, esta rugosidad depende del material usado en la fabricación de las tuberías. Los tubos de acero producen una fricción diferente a la de los tubos de plástico PVC de similar tamaño, además el diámetro de los tubos influye en la fricción, mientras más estrechos, mayor resistencia producida.

Para calcular la carga dinámica, es necesario encontrar la distancia que recorre el agua desde el punto en el que el agua entra en la bomba hasta el punto de descarga, incluyendo las distancias horizontales, así como el material de la línea de conducción y su diámetro. [9]

### **2.2.3.2. Elementos de un sistema de bombeo.**

Todo sistema de bombeo cuenta con diferentes dispositivos y/o elementos que lo constituyen, la diferencia radica de acuerdo al lugar donde se desee realizar la extracción del agua, ya que debido a esto se selecciona el tipo de bomba y motor, como también las tuberías, válvulas y el depósito donde se vaciará el agua. [9]

#### **a. Bombas.**

Cuando se habla de circulación de fluidos se está, de alguna manera entrando en el tema de bombas, puesto que estas realizan la función de hacer circular el líquido de un lugar a otro. El

funcionamiento en sí de la bomba será el de un convertidor de energía, o sea, transformara la energía mecánica en energía cinética, generando presión y velocidad en el fluido.

La bomba sirve para producir una ganancia en carga estática de un fluido, procedente de una energía mecánica que se transmite en su eje por medio de un motor. Hay una diversidad de mecanismos de bombeo (bombas), cuya capacidad, diseño y aplicación cubren un amplio rango que va desde pequeñas unidades utilizadas para dosificación de cantidades mínimas, hasta bombas centrífugas que son capaces de manejar grandes volúmenes para surtir de agua a las grandes concentraciones urbanas. Su variedad de diseños cubren desde diferentes principios de operación, hasta bombas especiales para manejo de sustancias tan diversas como el agua, metales fundidos, concreto, gastos diferentes y materiales de construcción. [9]

#### **a.1. Clasificación de bombas.**

Existen un sin número de diferentes tipos de bombas, debido a los materiales de construcción, tamaños diferentes para manejo de gastos y presiones sumamente variables así como los diferentes líquidos a manejar. Se entenderá la importancia de este tipo de maquinaria, a continuación se mencionan los tipos de bombas más comúnmente utilizadas como son las llamadas Centrífugas, Rotatorias y por ultimo las bombas sumergibles. Tal como se muestra en la figura 27.

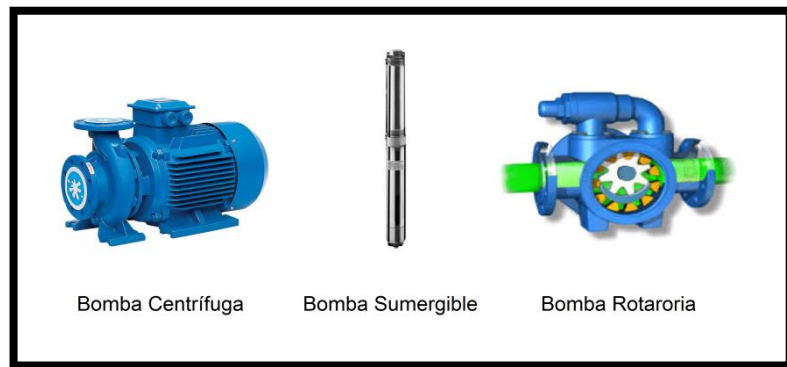


Figura 27: 3 tipos de bombas de agua.

Fuente: elaboración propia.

- **Bombas Centrífugas.**

Imaginando un impulsor en reposo dentro del agua. Si dicho impulsor se pone a girar, el agua saldrá impulsada por entre los álabes del mismo. A medida que el agua es arrojada fuera de los álabes, más agua llega al centro del impulsor, por ser ésta la zona de menor presión; por ello es ahí donde generalmente se coloca el producto que se desea bombear.

Al continuar girando el impulsor, más agua es expulsada y más agua llega al centro del impulsor, manteniéndose así un flujo continuo, sin variaciones de presión; este es el principio de funcionamiento de las bombas centrífugas. Si el impulsor se coloca dentro de un envolvente o carcasa, el flujo es dirigido hacia donde es requerido, para lograr de ésta manera el objetivo deseado, en la figura 28 se muestra los principales elementos de una bomba centrífuga.

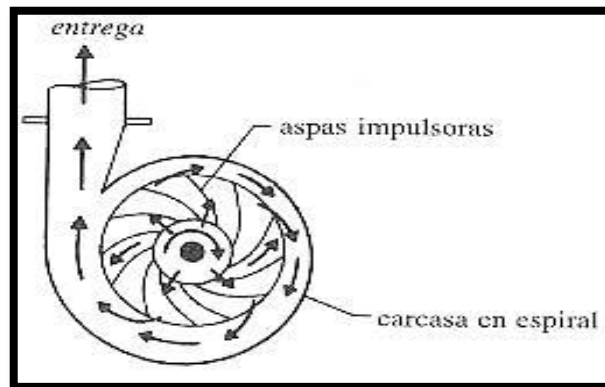


Figura 28. Bomba centrífuga.

Fuente: <http://goo.gl/Jzue4K>

El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga, pues es el componente que genera la velocidad al fluido; consiste en un cierto número de aspas o álabes curvados con una forma tal que permite un flujo continuo del fluido a través de ella. El diseño de los impulsores se hace en función del fluido a bombear, pudiendo ser abiertos, semicerrados y cerrados.

La carcasa de una bomba centrífuga, también con la posibilidad de ser de diferentes diseños, tiene la función de hacer la conversión de energía cinética o de velocidad que se imparte al fluido por el impulsor, en energía de presión o potencial. Existen dos tipos básicos de carcasas: de tipo espiral y de tipo difusor. En las carcasas de tipo espiral, el impulsor descarga el fluido en un área que se expande gradualmente, disminuyendo así la velocidad para irse convirtiendo en energía de presión.

La carcasa de tipo difusor, se basa en unas guías estacionarias con una trayectoria definida, que va ampliando el área desde el impulsor hacia la propia carcasa, haciendo también la conversión de energía cinética (velocidad) a energía potencial en el flujo (presión). Este tipo de carcasa es más utilizado en bombas de varias etapas.

A diferencia de otros tipos de bombas, las centrífugas, operando a velocidad constante proporcionan un flujo desde 0 hasta su valor máximo, en función de la carga, diseño propio y condiciones de succión. Existen curvas características, típicas, de bombas centrífugas, donde se puede interrelacionar la presión de descarga (carga), capacidad, potencia requerida y eficiencia de operación de la bomba. [9]

- **Bombas Rotatorias.**

Las bombas rotatorias, en sus diferentes variedades, se consideran de desplazamiento positivo, pues su principio de operación está basado en un transporte directo del fluido de un lugar a otro. Los elementos rotatorios de la bomba crean una disminución de presión en el lado de succión, permitiendo así que una fuerza externa (en ocasiones la presión atmosférica) empuje al fluido hacia el interior de una cavidad. Una vez llena ésta, los elementos rotatorios, en su propia rotación, arrastran o llevan el fluido que quedó atrapado en la mencionada cavidad, formada por la parte rotatoria de la bomba y la carcasa

(estacionaria), siendo empujado hacia la descarga, forzándose a salir.

El fluido así es prácticamente desplazado de la entrada hacia la salida en un movimiento físico de traslación, tal como se muestra en la figura 29. Los tipos de bombas rotatorias más comunes son las llamadas de engranes, tanto externos como internos, bombas de lóbulos y bombas de tornillo.

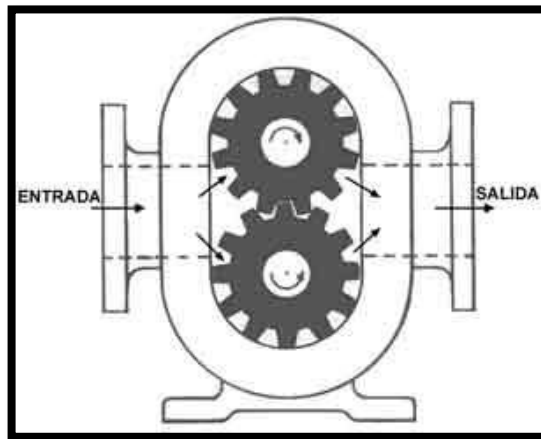


Figura 29. Bomba rotatoria.

Fuente: <http://goo.gl/LbzAl8>

Por sus características de operación, la capacidad de manejo de flujo en una bomba rotatoria, está en función de su tamaño y velocidad de rotación. Pueden usarse para líquidos con cualquier índice de viscosidad, pero son bombas sensibles a la presencia de abrasivos, por la gran fricción que hay entre los engranes o lóbulos y el fluido. En particular su rango de fluidos más adecuado, son los de alta viscosidad como grasas, mezclas, pinturas, etc. [9]

- **Bombas sumergibles.**

Son equipos que tienen la bomba y motor acoplados en forma compacta, de modo que ambos funcionan sumergidos en el punto de captación; se emplean casi exclusivamente en pozos muy profundos, donde tienen ventajas frente al uso de bombas de eje vertical, tal como se muestra en la figura 30. [10]

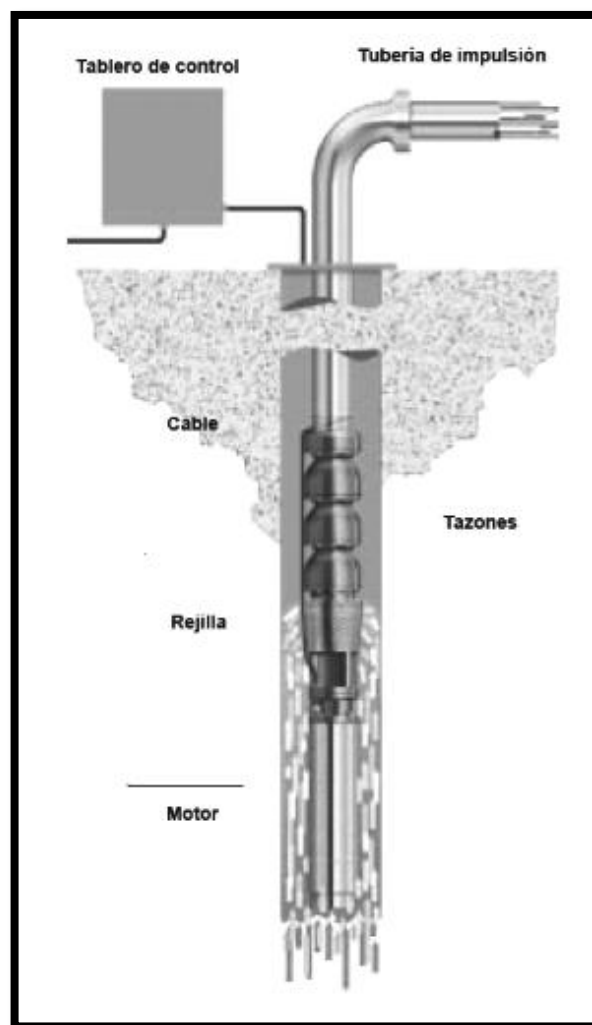


Figura 30. Bomba sumergible.

Fuente: Organización panamericana de la salud. (2011)

Estas bombas tienen la desventaja de poseer eficiencia relativamente bajas, por lo cual, aun cuando su costo puede ser relativamente bajo, el costo de operación es elevado por su alto consumo de energía.

Otra desventaja es que al estar el motor y la bomba sumergidos, no existe forma de llegar a ellos cuando están instalados, en otras palabras la unidad no es susceptible de recibir mantenimiento sin paralizar el bombeo.

Los motores sumergibles están concebidos con velocidades de operación altas y son máquinas muy rígidas con respecto a la misma, no es factible hacer regulaciones durante la operación para variar la velocidad. [10]

#### **b. Válvulas.**

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios. Además es un accesorio que se utiliza para controlar el fluido de una tubería. Este proceso puede ser desde cero (válvula totalmente cerrada), hasta el paso total de flujo (válvula totalmente abierta), y pasa por todas las posiciones intermedias, entre estos dos extremos. [9]

La palabra flujo expresa el movimiento de un fluido, pero también significa la cantidad total de fluido que ha pasado por una



sección de terminada de un ducto. Caudal es el flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de fluido que circula por una sección determinada del ducto en la unidad de tiempo.

Existe una gran variedad de válvulas en el mercado que son de gran utilidad para el control de fluidos y estos se clasifican de acuerdo al fluido a controlar, como pueden ser: de compuerta, en ángulo, de 3 vías, de globo, de bola de mariposa, etcétera. En la Figura 31 se encuentran algunos ejemplos de estas válvulas.

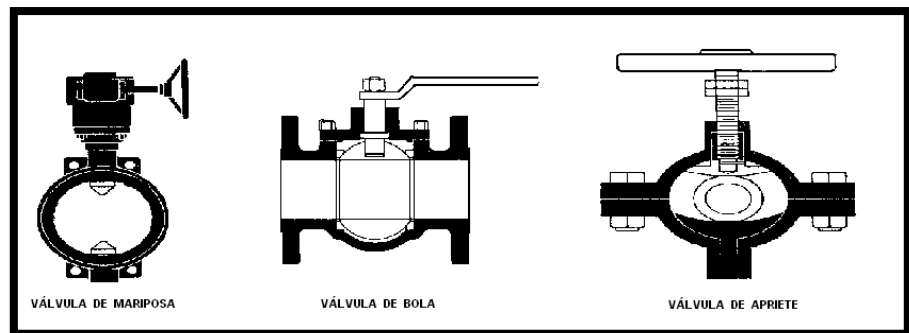


Figura 31. Ejemplos de válvulas.

Fuente: <https://goo.gl/IAqP2n>

Las válvulas son unos de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta 30 ft (9 m) o más de diámetro. Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de 140 mPa y temperaturas desde las criogénicas hasta 815 °C. [9]

### **c. Tuberías.**

Las tuberías son elementos de diferentes materiales que cumplen la función de permitir el transporte del agua u otros fluidos en forma eficiente. Cuando el líquido transportado es petróleo, se utiliza la denominación específica de oleoducto. Cuando el fluido transportado es gas, se utiliza la denominación específica de gasoducto. Cuando el fluido transportado es agua se utiliza la denominación acueducto y si es otro fluido, se especifica.

Las tuberías para conducción y distribución de agua potable cumplirán con todo lo especificado en el manual de Normas de Diseño de Redes de Acueducto y pueden ser de hierro fundido gris, acero, hierro dúctil, cobre y cloruro de polivinilo (PVC). El empleo de tuberías de otros materiales requiere de la aprobación de la entidad en la que se está llevando a cabo dicha instalación.

Para todos los materiales la entidad hará cumplir la última revisión de las especificaciones nacionales e internacionales. Otros aspectos no incluidos en estas normas cumplirán las especificaciones del fabricante. [9]

### **d. Reservorio.**

El depósito es el medio en el cual se vierte todo tipo de material ya sea líquido o sólido, en este caso se llena de agua que servirá para la distribución a zonas cercanas por medio de la acción de la gravedad, como se observa en la figura 32. De esta manera es muy

importante verificar el material del cual está hecho dicho depósito.

[9]



Figura 32. Reservorio de agua potable.

Fuente: Elaboración propia.

### **2.2.3.3. Aguas subterráneas.**

Una parte de la precipitación caída (en forma de lluvia, nieve o granizo) discurre por la superficie terrestre formando arroyos y ríos, lo que constituye la escorrentía superficial. Otra parte se infiltra en el terreno, rellenando poros y fisuras; cuando éstos se saturan, el agua fluye por gravedad hacia los manantiales, ríos o mares, dando lugar a la escorrentía subterránea.

Las aguas superficiales y las aguas subterráneas están muy relacionadas, pues es muy frecuente que el agua subterránea aflora en fuentes y manantiales para seguir un recorrido superficial, mientras que en otros casos el agua superficial se infiltra, pasando a formar parte del agua subterránea. En muchas ocasiones, los ríos

superficiales sirven de desagüe natural a las corrientes subterráneas, por cuya causa aquéllos siguen llevando agua aunque transcurran largos períodos de tiempo sin llover.

La relación entre las aguas superficiales y subterráneas resulta muy notoria en el curso de muchos ríos. Cuando el agua circula por el álveo de un cauce asentado sobre un terreno permeable no consolidado, una parte del caudal rellena los poros de ese terreno, formando un manto de aguas subálveas que discurre a la par del río superficial, tal como se muestra en la figura 33. Por tanto, en torno al río superficial fluye otro río subterráneo que discurre a mucha menos velocidad que el anterior. Cuando el nivel del agua se sitúa por debajo de la superficie del cauce, la totalidad del agua es subterránea. [11]

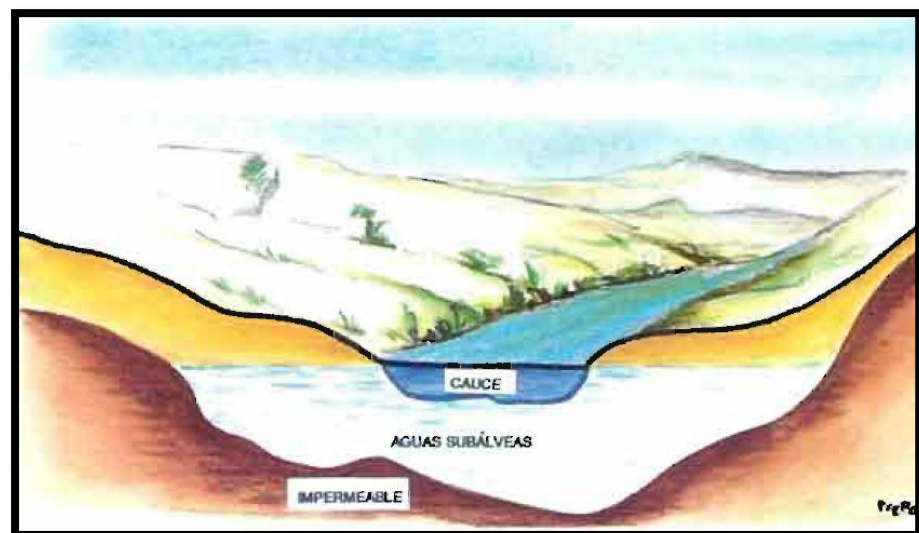


Figura 33. Las aguas subálveas son aguas subterráneas que circulan en torno al álveo de un río asentado sobre un terreno rocoso.

Fuente: Fuentes, (2002). Aguas subterráneas.

Desde el punto de vista de su explotación hay que tener en cuenta una serie de características diferenciales entre las aguas superficiales y subterráneas:

- ✓ La velocidad de desplazamiento de las aguas superficiales es muy superior (del orden de las 100.000 veces) a la de las aguas subterráneas.
- ✓ El volumen de agua subterránea almacenada es mucho mayor que el volumen del agua que discurre superficialmente en un momento dado.
- ✓ Las aguas que discurren superficialmente se concentran en un pequeño número de ríos, mientras que las aguas subterráneas se mueven y ocupan grandes extensiones.
- ✓ Las corrientes superficiales tienen grandes variaciones de caudal, mientras que las subterráneas experimentan unas variaciones muy pequeñas.

### 2.3. MARCO CONCEPTUAL

**Rack:** Bastidor donde se alojan un conjunto de tarjetas en forma ordenada, que por lo general están en comunicación.

**Elemento Bus:** Dispositivo de cableado en capas paralelas que unen los diferentes subconjuntos que constituyen un PLC.

**Led:** Diodo emisor de luz.

**Transductor:** Dispositivo que transforma cualquier parámetro físico, químico y biológico en una magnitud eléctrica.

**Nemotécnia:** Técnica de aumentar la capacidad de la memoria por medio de reglas.

**Tiempo de barrido:** Es el tiempo que se emplea en leer la información de los módulos de entrada, escrutar el programa de aplicación y finalmente actualizar el estado en los módulos de salida.

**Relé:** Dispositivo electromagnético que, estimulado por una corriente eléctrica muy débil, abre o cierra un circuito en el cual se disipa una potencia mayor que en el circuito estimulador.

**Microprocesador:** Es un circuito electrónico que actúa como unidad central del PLC, proporcionando el control de las operaciones de cálculo.

**Finales de carrera:** Son dispositivos eléctricos, neumáticos mecánicos situados al final de un recorrido o de un elemento móvil.

**Contactador:** Interruptor automático que sirve para restablecer los enlaces entre distintos circuitos o aparatos eléctricos.

**Optoacoplador:** Es un circuito integrado muy básico compuesto generalmente por un diodo led y un foto transistor unidos de tal forma que cuando una señal eléctrica circula a través del led haciendo que brille, la luz que este emite es recibida por la base del fototransistor, que empieza a actuar en modo saturación.

**Interface:** Es la conexión funcional entre dos sistemas o dispositivos de cualquier tipo dando una comunicación entre distintos niveles.

**Rectificador:** Es el elemento o circuito que permite convertir la corriente alterna en corriente continua.

**Impedancia:** Resistencia aparente de un circuito dotado de capacidad y autoinducción al flujo de una corriente eléctrica alterna, equivalente a la resistencia efectiva cuando es una corriente continua.

**Triac:** Es un dispositivo de tres terminales usado para controlar la corriente promedio que fluye a una carga, puede conducir corriente en cualquier dirección.

**Dispositivos de estado sólido:** Son pequeños componentes electrónicos activos que están contruidos por materiales semiconductores, por los cuales se conduce corriente eléctrica y son utilizados en la fabricación de circuitos integrados y otros aparatos electrónicos.

**Álabe:** Es la paleta curva de un motor o máquina de fluido. Forma parte del difusor o del distribuidor.

**Escorrentía:** Corriente de agua de lluvia que circula libremente por la superficie de un terreno.

**Álveo:** Cauce de un río o un arroyo.

**Bomba:** Máquina que se usa para extraer, elevar o impulsar líquidos y gases de un lugar a otro.

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO Y SIMULACIÓN**

El diseño que se propone para un nuevo sistema de bombeo del agua en esta comunidad, tiene como finalidad hacer automático este proceso, desde la obtención del agua en los reservorios hasta el llenado del tanque final, que es donde se realiza la posterior distribución de este líquido indispensable.

A continuación procede a realizar un análisis de cómo es el sistema actual, y que es lo que se va a realizar para mejorar este proceso. También se analizará las herramientas a utilizar, construcción del diseño por etapas, y su posterior simulación. Finalmente se hará una revisión y consolidación de resultados del diseño elaborado.



### 3.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA

#### 3.1.1. Descripción del sistema actual.

El proceso de la obtención del agua en la comunidad, consta de tres etapas, las cuales son: obtención, tratamiento y almacenamiento final. Asimismo estas tres etapas están distribuidas de la siguiente manera:

- a. Pozo subterráneo.
- b. Planta de tratamiento.
- c. Reservorio final.



Figura 34. Ubicación de las tres etapas de bombeo dentro de la población.

Fuente: Google Earth, 2016.

A continuación se describe el sistema actual de bombeo explicando la ubicación, y que es lo que se encuentra en cada zona del proceso, ver figura 34.

**a. Pozo subterráneo.**

El pozo subterráneo es el punto de inicio del proceso, de donde se obtiene el agua, que llegará a cada una de las viviendas de Yanacoto. Se encuentra ubicada en la entrada de la población, a la altura del km. 29.5 de la carretera central; este pozo tiene una profundidad de 60 metros aproximadamente con un diámetro de 1.5 m.

En el lugar se encuentra el sistema de arranque del motor sumergible, todos estos equipos están dentro de una caseta de bombeo por razones de seguridad, tal y como se muestra en la figura 35.



Figura 35. Caseta de bombeo del pozo subterráneo.

Fuente: Elaboración propia.

Con la colaboración del operador de la caseta de bombeo, se ingresó a las instalaciones, para recoger todos los datos del funcionamiento, y arranque del motor y se encontró lo siguiente:

- Bomba sumergible Hidrostral de 30 HP.
- Alimentación trifásica de 440 v.
- Sistema de mando con arranque estrella-triángulo.
- Circuito de mando con alimentación de 220 v.

Como se muestra en la figura 36. En el tablero de control de la bomba sumergible del pozo subterráneo, se pudo constatar que cuenta con una llave principal de alimentación, tres contactores, un temporizador on delay, los relés de las sondas de nivel con su respectivo contactor.



Figura 36. Tablero de arranque existente en el pozo subterráneo.

Fuente: Elaboración propia.

El tablero de control que activa la bomba sumergible, cuenta con un circuito eléctrico, el cual detalla su funcionamiento. En la figura 37, se muestra que el modo de arranque de esta bomba es de estrella-triángulo, para reducir el pico de corriente de arranque. También se observa claramente el diagrama del relé de las sondas de nivel, el cual se usará como entrada al PLC. Por último se comprobó que el circuito de mando funciona con 220 Vac.

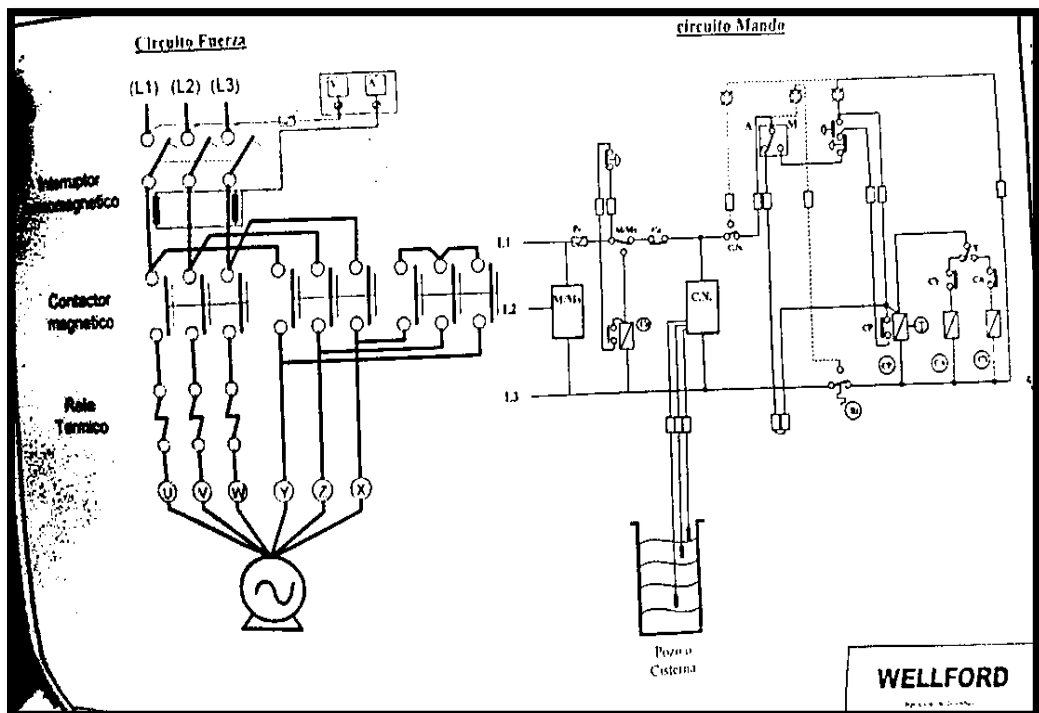


Figura 37. Circuito eléctrico de arranque de motor sumergible.

Fuente: Wellffor, 2006.

## b. Planta de tratamiento.

La Planta de tratamiento está ubicada en la tercera zona de la población, a 750 metros de distancia aproximadamente con respecto al pozo subterráneo. Esta distancia tiene una pendiente de 11%. Al igual que el pozo subterráneo, cuenta con una caseta de bombeo, tal como se muestra en la figura 38.

Se llama planta de tratamiento, porque es en este punto donde se hace el tratamiento y clorado del agua proveniente del pozo subterráneo. Aquí también hay un operador encargado de ver los niveles de los reservorios, clorar el agua y encender y/o apagar la bomba.



Figura 38. Caseta de bombeo de la planta de tratamiento.

Fuente: Elaboración propia.

En este lugar se puede encontrar 2 reservorios de acopio del agua que llega desde el pozo subterráneo, estos reservorios tienen una capacidad de 50 metros cúbicos cada uno, tal como se muestra en la figura 39.



Figura 39. Reservorios de acopio de 50 m<sup>3</sup> cada uno.

Fuente: Elaboración Propia.

El proceso de clorado del agua se lleva a cabo en un tercer reservorio de 100 metros cúbicos, luego de haberse clorado el agua, se hace el bombeo hacia el reservorio final que está en la parte más alta de la población.

Para el bombeo del agua en esta planta de tratamiento al igual que en el pozo subterráneo, se cuenta con una bomba sumergible Hidrostal de 30 hp, de similar características que la primera bomba, tal como se muestra en la figura 40.



Figura 40. Tablero eléctrico para el arranque del motor sumergible de la planta de tratamiento.

Fuente: Elaboración propia.

También existe una segunda bomba que esta de manera de respaldo, en caso fállasela la bomba sumergible, el operador pondrá a trabajar esta bomba para trasladar el agua hasta el reservorio final.

A diferencia de las dos bombas anteriores, la bomba de respaldo es del tipo centrifuga, tal como se muestra en figura 41. Al igual que las dos bombas, cuenta con un arranque estrella triángulo.



Figura 41. Bomba Centrífuga de respaldo, en la planta de tratamiento.

Fuente: Elaboración Propia.

### **c. Reservorio final.**

Es el destino final del agua antes de ser distribuido a las viviendas, se encuentra ubicada en la parte más alta de la población, a 430 metros de distancia de la planta de tratamiento. En este lugar se cuenta con un reservorio de concreto de 100 metros cúbicos aproximadamente, tal como se muestra en la figura 42.





Figura 42. Reservorio final, ubicado en la parte alta de Yanacoto.

Fuente: Elaboración Propia.

Es aquí donde termina todo el proceso de obtención y bombeo del agua, puesto que desde aquí se da inicio a otro proceso, el cual es la distribución del agua a todas las avenidas y posteriormente a las casas, satisfaciendo de esta manera a los pobladores de este Asentamiento Humano.

### **3.1.2. Descripción del sistema a desarrollar.**

Para que el sistema funcione de una manera eficiente es necesario automatizar el proceso de bombeo del agua, desde la obtención que comienza en el pozo subterráneo, hasta la llegada del agua en el reservorio final. Para este fin se va a diseñar un sistema automatizado de

bombeo, basado en la tecnología de control con PLC y sensores capacitivos de nivel.

El PLC será el cerebro del proceso, el cual se encargará dar órdenes a los actuadores, que en este caso son los motores del pozo subterráneo y de la planta de tratamiento. El PLC dará órdenes a los actuadores dependiendo de la información que reciba de sus captadores, que en este caso son los sensores ubicados en los diferentes reservorios. En la figura 43, se muestra pozo subterráneo.

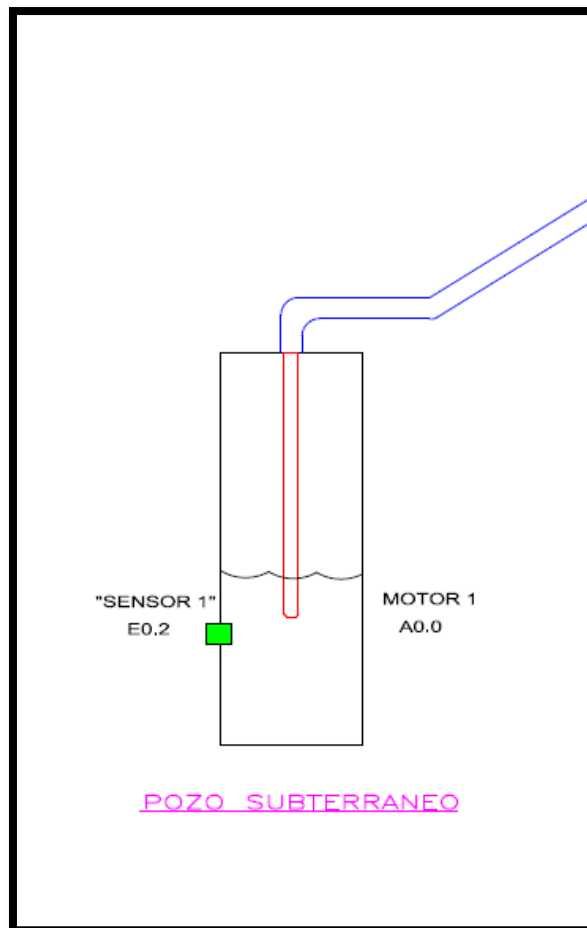


Figura 43. Captador y actuador en el pozo subterráneo.

Fuente: Elaboración propia.

El PLC que se empleará para el diseño del sistema será el modelo S7-1200 de la marca Siemens, y estará ubicado estratégicamente en la zona que llamamos, planta de tratamiento que está dentro de la población, tal como se muestra en la figura 44. La planta de tratamiento es el punto central de todo el proceso, y es en este lugar de donde se dará inicio al funcionamiento del sistema diseñado. Para comprender la forma de operación del nuevo sistema se explicará paso a paso en los siguientes puntos:

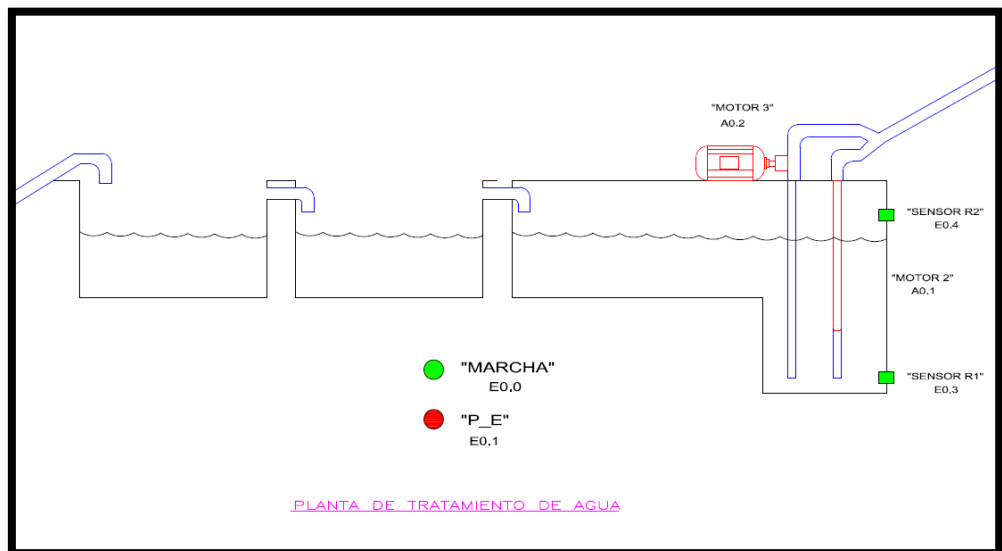


Figura 44. Captadores y actuadores en la planta de tratamiento.

Fuente: Elaboración Propia.

1. El proceso iniciará suponiendo que los reservorios están completamente vacíos, entonces un operador ubicado en la planta de tratamiento, dará marcha al proceso.

2. Al dar marcha al proceso, se activará la bomba del pozo subterráneo, la cual impulsará el agua hasta los reservorios de la planta de tratamiento.
3. La bomba del pozo subterráneo se desactivará cuando el sensor del tercer reservorio de la planta de tratamiento indique que está lleno.
4. En el momento en que el sensor del reservorio de la planta de tratamiento indique que está llena, arrancará automáticamente el segundo motor sumergible, y este se encargará de impulsar el agua hasta el reservorio final, el cual está ubicado en la parte más alta de la población.
5. El motor 2, se desactivará cuando el sensor del reservorio final indique que está lleno. Paralelamente si el sensor ubicado en la planta de tratamiento que indica que el agua se está acabando activará nuevamente el motor del pozo subterráneo.
6. El encendido del motor 3, dependerá de un sensor de presión que estará instalado en la salida del motor sumergible (motor 2), el cual indicará si el motor está bombeando o no lo está haciendo, si en caso no este bombeando entonces el motor 3 se pondrá en marcha automáticamente. El motor 3 dejará de funcionar luego de que se repare las probables fallas que tenga el motor 2.

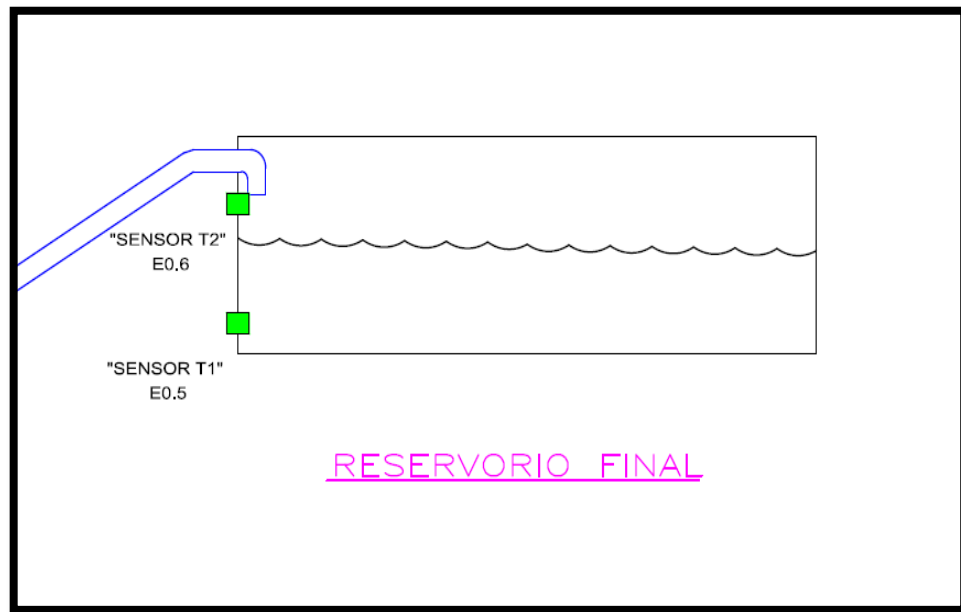


Figura 45. Captadores en el reservorio final.

Fuente: Elaboración Propia.

El diseño del nuevo sistema automatizado de bombeo mantendrá siempre lleno el reservorio final de la parte alta de la población que se muestra en la figura 45, y no será necesario que haya un operador en cada zona, para prender los motores y verificar los niveles de los reservorios constantemente. Solo sería necesario un operador para el encendido del sistema, de esta manera se debería reducir los gastos en personal.

### 3.2. DISEÑO DEL SISTEMA

En el presente proyecto, la parte de diseño será lo más importante a realizar, puesto que aquí se describirá el hardware y software de la propuesta a implementarse.

### 3.2.1. Hardware del sistema de bombeo.

En el hardware del sistema de bombeo, se ha enfocado en el tipo de PLC que se usará en el proyecto, si se llegara a implementar. También se hablara de los instrumentos a utilizar.

#### a. PLC Siemens S7-1200.

Para el sistema de bombeo a proponer, se empleará el PLC Siemens S7-1200, el cual cuenta con tres tipos de CPU de acuerdo a la necesidad de entradas y salida que requiera el sistema, para nuestro caso utilizaremos en CPU 1214C, algunas características se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1. Características del CPU Siemens S7-1200.

Función	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75		110 x 100 x 75
Memoria de usuario			
• Memoria de trabajo	• 25 KB		• 50 KB
• Memoria de carga	• 1 MB		• 2 MB
• Memoria remanente	• 2 KB		• 2 KB
E/S integradas locales			
• Digitales	• 6 entradas/4 salidas	• 8 entradas/6 salidas	• 14 entradas/10 salidas
• Analógicas	• 2 entradas	• 2 entradas	• 2 entradas

Fuente: Fuente: Manual del Sistema, S7-1200, (2019).

El controlador lógico programable S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC.

Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

[12]

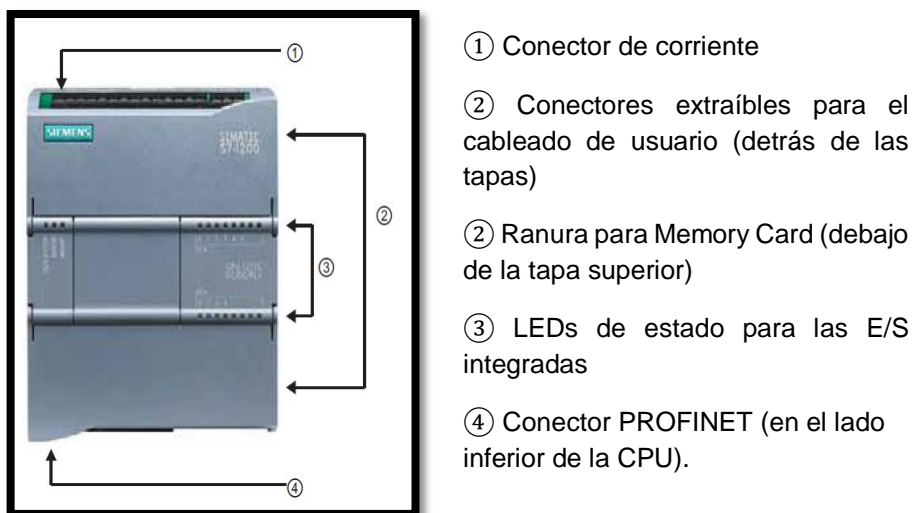


Figura 46. Partes del PLC s7-1200.

Fuente: S7-1200, manual del sistema, (2009).

La CPU provee una alimentación de sensores de 24 V DC que puede suministrar 24 V DC a las entradas y bobinas de relé de los módulos de señales, así como a otros equipos consumidores. Este es un dato muy importante puesto que para el proyecto a proponer se instalará un

relé para cada salida del PLC que va hacia los motores. Y se realizará lo inverso para las entradas, provenientes de los sensores capacitivos.

#### **b. Sensor capacitivo de nivel.**

Dispositivo que genera un campo eléctrico, al acercarse un objeto (cualquier material) éste altera el dieléctrico alrededor del dispositivo, esto modifica el campo eléctrico y por ende la capacidad. Al detectarse este cambio la salida produce un cambio de señal.

Se instalará sensores de nivel en el pozo subterráneo para que el motor funcione si hay suficiente agua en este pozo. También se debe de instalar sensores de llenado y vaciado en el pozo principal de la planta de tratamiento, de igual modo, en el reservorio final de la parte alta se pondrá sensores que indicarán si está lleno o vacío.

Se recomienda que los sensores deban ser del tipo capacitivo, pero dependerá la ubicación para determinar si será con activación de relé o de PNP.

- **Sensor capacitivo de nivel tipo PNP.**

El principio de funcionamiento de éste sensor es igual que de un transistor en modo switch, quiere decir que se tomará dos hilos para alimentarlos de 24 Vdc, y al detectar el líquido, tendremos por el tercer hilo, el voltaje que con el cual se alimentó al sensor. En la figura 47 se muestra como se debe conectarse el sensor.



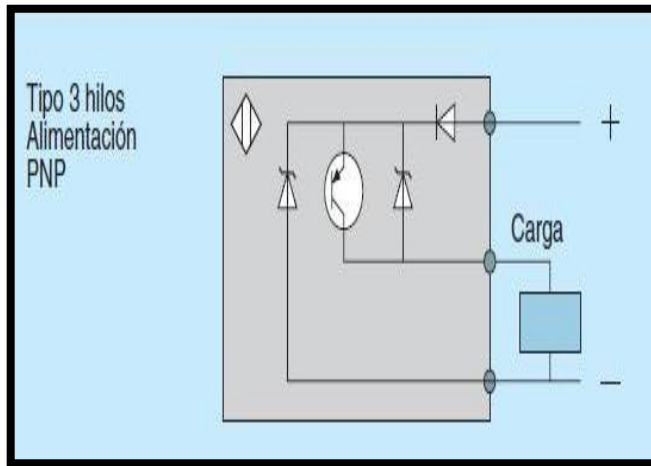


Figura 47. Data Sheet de sensor capacitivo PNP.

Fuente: <http://goo.gl/G50clc>

Para el reservorio de la planta de tratamiento y el reservorio final, se recomienda usar sensores capacitivos Schneider, pues sus características se adaptan a nuestro sistema, tal como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Características de sensor capacitivo tipo PNP.

<b>SENSOR CAPACITIVO SCHNAIDER XT132B1FAL2</b>	
Tipo de sensor	capacitivo
Tamaño	70 mm
Numero de hilos	3
Tipo de circuito de salida	DC
Tensión de alimentación nominal	24 Vdc
Consumo de corriente	< 15mA
Función de salida	NA
Tipo	PNP

Fuente: Schneider, (2015). Catalogo

- **Sensor capacitivo de nivel tipo relé.**

Estos tipos de sensor están en reposo en modo NA (normalmente abierto), eso quiere decir que al detectar agua, pasa al estado de NC(normalmente cerrado). En el reservorio final de la parte alta de la población se instalará este tipo de sensor, el cual se encargará de sensor la altura del llenado y vaciado (10% de la altura total).

En la tabla 3 se muestra algunas de las características de este tipo de sensor.

Tabla 3. Características de sensor capacitivo tipo RELÉ.

<b>SENSOR CAPACITIVO SCHNAIDER XT132B1FAL2</b>	
Tipo de sensor	Capacitivo
Tamaño	80 mm
Numero de hilos	2
Tipo de circuito de salida	AC
Tensión de alimentación nominal	24 ... 240 Vac , 50...60 Hz
Consumo de corriente	4mA
Función de salida	NA
Tipo	Relé

Fuente: Schneider, (2015). Catalogo

El motivo por el cual se instalará este tipo de sensor en el reservorio final, es porque está alejado del PLC, y la manera de funcionamiento de este sensor el siguiente: se alimentará con 220 Vac, y al activarse cualquiera de los dos sensores, este excitará la bobina de un relé que se encuentra junto al PLC, el cual tendrá una

salida de 24Vdc, que será entrada (1 lógico) del PLC. La instalación será similar al que se muestra en la Figura 48.

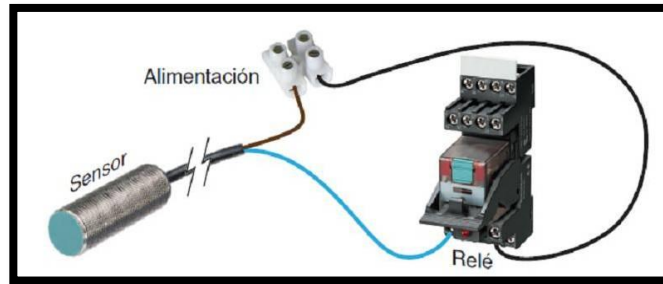


Figura 48. Forma de instalación del sensor capacitivo tipo RELÉ.

Fuente: <https://goo.gl/yNPkeE>

### c. Sensor de sondas colgantes.

Usado en el pozo subterráneo, su principio de funcionamiento es, que cuando el nivel del líquido alcanza el nivel máximo prefijado, o decae el mínimo, se activa el relé interno del dispositivo, el cual directa o indirectamente activa el relé de salida, tal como se muestra en la figura 49.

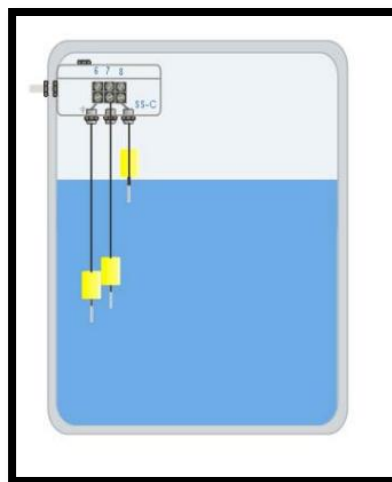


Figura 49. Sensor de sondas flotantes, tipo RELÉ. Instalado en el pozo subterráneo.

Fuente: <http://goo.gl/cisFKF>

Este tipo de sensor se emplea para el control de nivel, ya se encuentra instalado en el pozo subterráneo, indica si hay suficiente nivel de agua dentro del pozo, para luego permitir el arranque de la bomba sumergible.

Algunas características son las siguientes:

- Alimentación: 12 Vdc.
- Salida: 220 Vac.

Por lo tanto solo usaremos la salida de este sensor del tipo relé de 220v para llevar a nuestro PLC que se instalara en la planta de tratamiento.

#### **d. Sensor de presión.**

Sensor de presión electrónico que se usará para activar la bomba de respaldo en la planta de tratamiento, el principio de funcionamiento de este sensor, es similar a los sensores capacitivos de nivel.

El modelo XMP 12 bar (catálogo de Schneider), es del tipo relé y cuenta con tres hilos, tiene una alimentación de 24 Vdc. Funciona en modo NA(normalmente abierto), y la señal será la entrada al PLC. Este modelo se muestra en la figura 50, y por características de funcionamiento es el que más se ajusta a la necesidad del sistema.



Figura 50. Sensor de presión, tipo RELÉ.

Fuente: Schneider Electric, (2015).

### **3.2.2. Software del sistema de bombeo.**

Se sabe que para la configuración de los PLC se necesita siempre de un software de programación, y en todos los casos siempre es creado por las marcas propietario de estos equipos controladores. A continuación describiremos uno en particular, el cual será empleado en el proyecto.

#### **a. TIA portal.**

El Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) integra diferentes productos SIMATIC en una aplicación de software que le permitirá aumentar la productividad y la eficiencia del proceso. Dentro del TIA Portal, los productos interactúan entre sí, ofreciéndole soporte en todas las áreas implicadas en la creación de una solución de automatización, tal como se muestra en la figura 51.

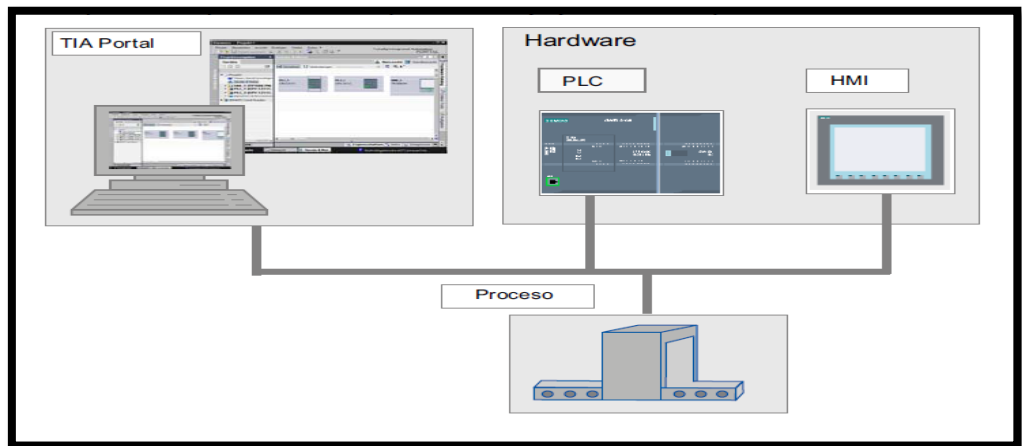


Figura 51. Proceso controlado por TIA portal.

Fuente: S7-1200, manual del sistema, (2009).

El TIA portal, es el software creado por la compañía Siemens para la programación del PLC S7-1200, y como se mencionó, en el presente proyecto se propone utilizar este modelo de controlador.

### 3.2.3. Programación del sistema de bombeo en el PLC.

La programación del controlador, la cual pondrá en funcionamiento el sistema de bombeo, se realizará a continuación siguiendo todas las etapas del programa. La primera etapa antes de iniciar a programar cualquier tipo de PLC, es identificar las variables de proceso y luego hacer una tabla de las entradas y salidas que tendrá el controlador.

A cada entrada y salida del PLC se le asignará una dirección de memoria dentro del programa y si es digital será un tipo de dato bool, y si es analógico será del tipo word. En el programa del proyecto se están

considerando solo entradas y salidas del tipo bool, porque se trabajará con señales discretas, tal como se muestra en las tablas 4 y 5.

- **Direccionamiento de Entradas del Programa.**

Tabla 4. Variables de entrada.

NOMBRE	TIPO DE DATOS	DIRECCIÓN
MARCHA	Bool	I0.0
P_E	Bool	I0.1
SENSOR_1	Bool	I0.2
SENSOR_R1	Bool	I0.3
SENSOR_R2	Bool	I0.4
SENSOR_T1	Bool	I0.5
SENSOR_T2	Bool	I0.6
SENSOR_PRESION	Bool	I0.7

Fuente: Elaboración propia.

- **Direccionamiento de Salidas del Programa.**

Tabla 5. Variables de salida.

NOMBRE	TIPO DE DATOS	DIRECCIÓN
MOTOR_1_Contactor_Línea	Bool	Q0.0
MOTOR_1_Contactor_Estrella	Bool	Q0.1
MOTOR_1_Contactor_Triangulo	Bool	Q0.2
MOTOR_2_Contactor_Línea	Bool	Q0.3
MOTOR_2_Contactor_Estrella	Bool	Q0.4
MOTOR_2_Contactor_Triangulo	Bool	Q0.5
MOTOR_3_Contactor_Línea	Bool	Q0.6
MOTOR_3_Contactor_Estrella	Bool	Q0.7
MOTOR_3_Contactor_Triangulo	Bool	%Q1.0

Fuente: Elaboración propia.

- **Selección del CPU en la interface del TIA Portal.**

Como se mencionó, el CPU para el proyecto será el S7-1214C, tal como se muestra en la figura 52.

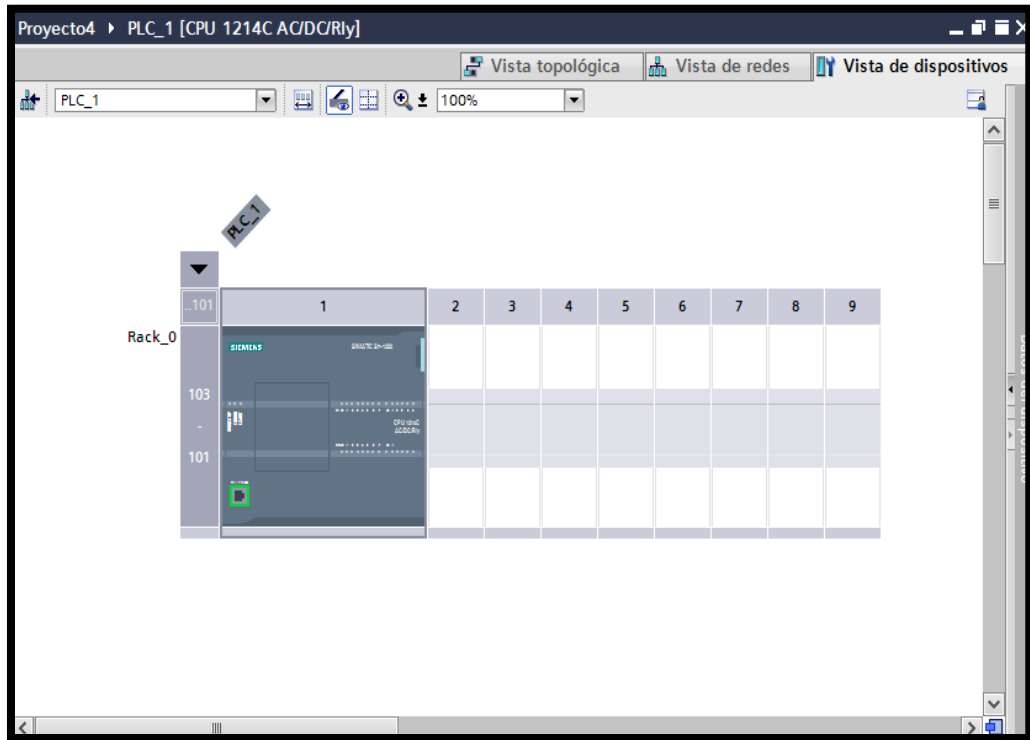


Figura 52. Configuración del CPU 1214C.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Creación de tabla de variables de entradas y salidas.**

Dentro del software se tiene que crear la tabla de variables, para mayor facilidad en la programación. Tal como se muestra en la figura 53.



Tabla de variables estándar			
	Nombre	Tipo de datos	Dirección
1	MARCHA	Bool	%I0.0
2	P_E	Bool	%I0.1
3	SENSOR_1	Bool	%I0.2
4	SENSOR_R1	Bool	%I0.3
5	SENSOR_R2	Bool	%I0.4
6	SENSOR_T1	Bool	%I0.5
7	SENSOR_T2	Bool	%I0.6
8	MOTOR_1_Contactor_Linea	Bool	%Q0.0
9	MOTOR_1_Contactor_Estrella	Bool	%Q0.1
10	MOTOR_1_Contactor_Triangulo	Bool	%Q0.2
11	SENSOR_PRESION	Bool	%I0.7
12	MOTOR_2_Contactor_Linea	Bool	%Q0.3
13	MOTOR_2_Contactor_Estrella	Bool	%Q0.4
14	MOTOR_2_Contactor_Triangulo	Bool	%Q0.5
15	MOTOR_3_Contactor_Linea	Bool	%Q0.6
16	MOTOR_3_Contactor_Estrella	Bool	%Q0.7
17	MOTOR_3_Contactor_Triangulo(1)	Bool	%Q1.0
18	MARCA 1	Bool	%M0.0
19	MARCA 2	Bool	%M0.1

Figura 53. Proceso controlado por TIA portal.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Creación del bloque de función, FB1 de arranque de motor.**

La programación será de manera estructurada, para esto se tendrá que crear un bloque de función FB para el arranque estrella – triángulo de la bomba. La elección del bloque se encuentra en la figura 54.

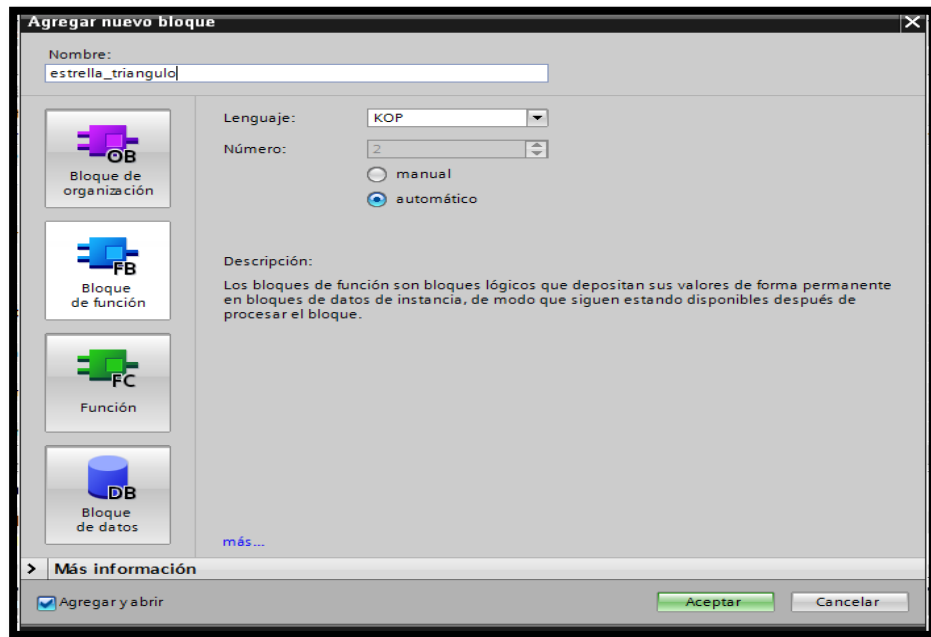


Figura 54. Interfaz para la creación de un FB.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Variables internas del Bloque de Función FB1.**

En la ventana de configuración del FB se pondrán las entradas y salidas del arranque estrella – triángulo, tal como se muestra en la figura 55.

estrella_triangulo				
	Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia
1	Input			
2	Marcha	Bool	false	No remane...
3	Paro	Bool	false	No remane...
4	Tiempo	Time	T#0ms	No remane...
5	Output			
6	Contactador_linea	Bool	false	No remane...
7	Contactador_estrella	Bool	false	No remane...
8	Contactador_triangulo	Bool	false	No remane...
9	InOut			
10	<Agregar>			
11	Static			
12	temporizador	IEC_TIMER		No remane...

Figura 55. Interfaz para la creación de un FB.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Programa del Bloque de Función FB1.**

La programación será en lenguaje ladder (escalera). En la figura 56 se muestran los segmentos para el arranque estrella – triángulo.

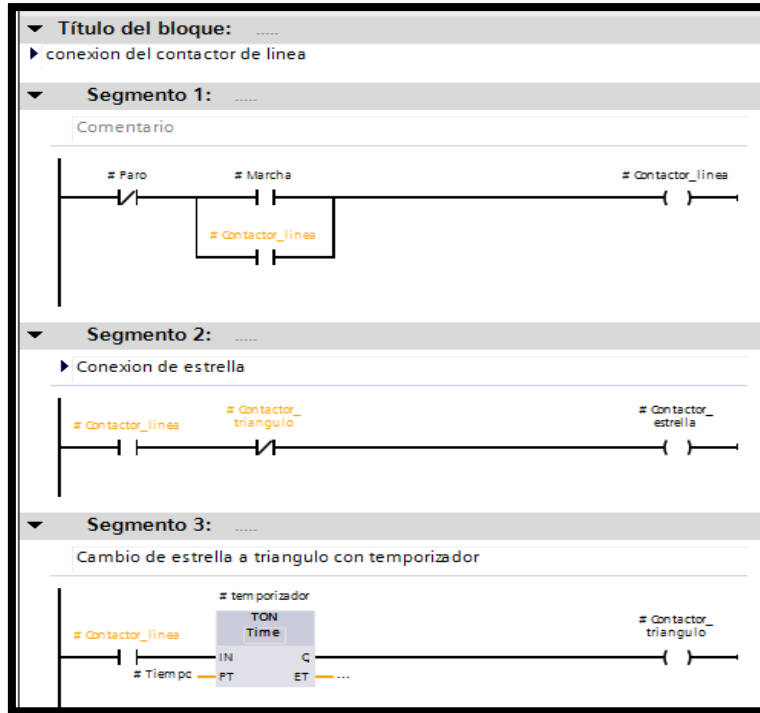


Figura 56. Programación en lenguaje ladder.

Fuente: Elaboración Propia.

- **El Bloque de Función que se muestra en la interfaz Principal OB1.**

En la figura 57, se muestra el bloque de función llamado en el OB1

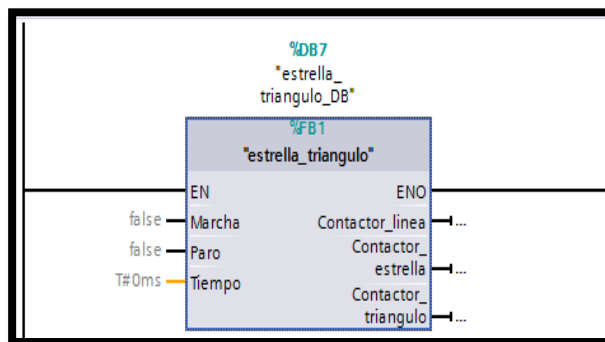


Figura 57. Bloque de Función FB1.

Fuente: Elaboración Propia.

- Programa principal dentro de la interfaz del OB1.

En esta interfaz es donde se realizará la programación completa del proceso de bombeo, dando la lógica al diseño del proceso. En la figura 58 se muestra la programación para activación del sistema y el encendido del primer motor del pozo subterráneo, las salidas serán la entrada a cada contactor existente en cada tablero de control.

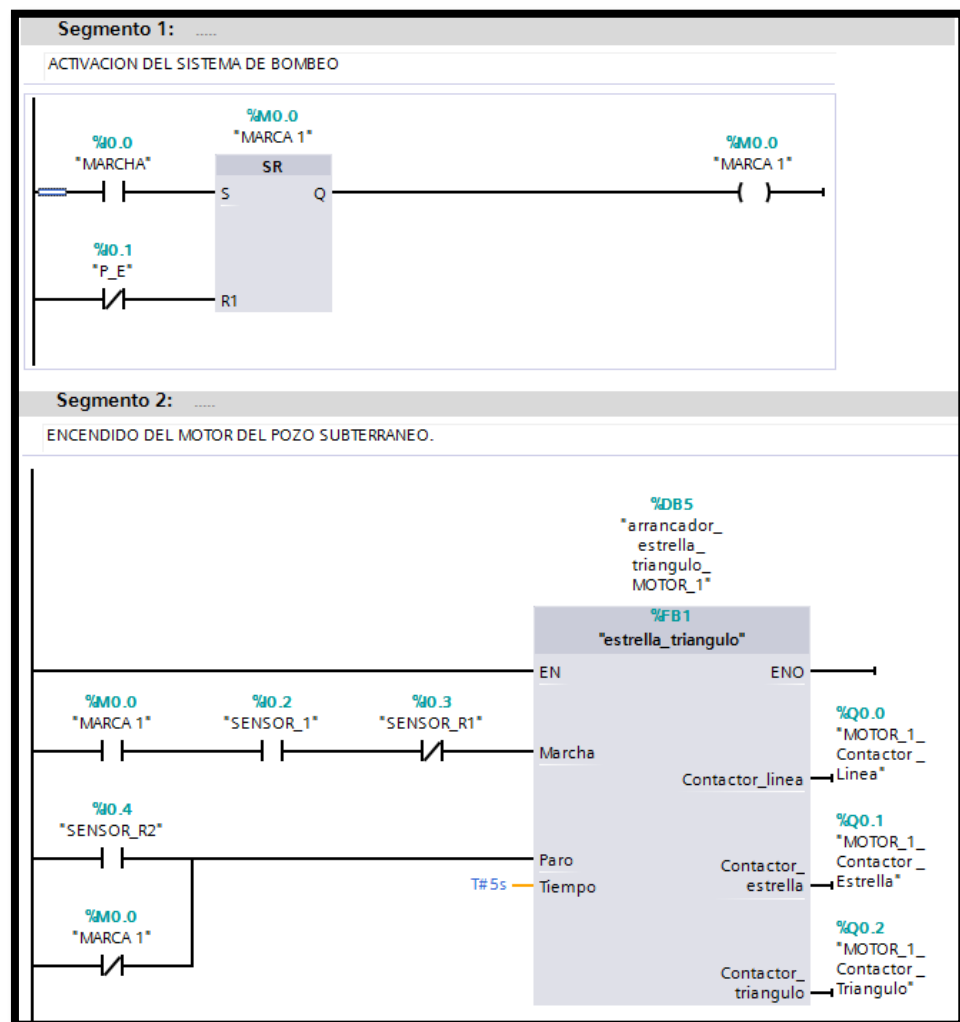


Figura 58. Condiciones para el arranque del motor 1.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 59 se puede ver el programa con el cual se arrancará el motor 2 ubicado en la planta de tratamiento. En esta etapa también se vuelve usar el bloque FB1, para el arranque estrella – triángulo.

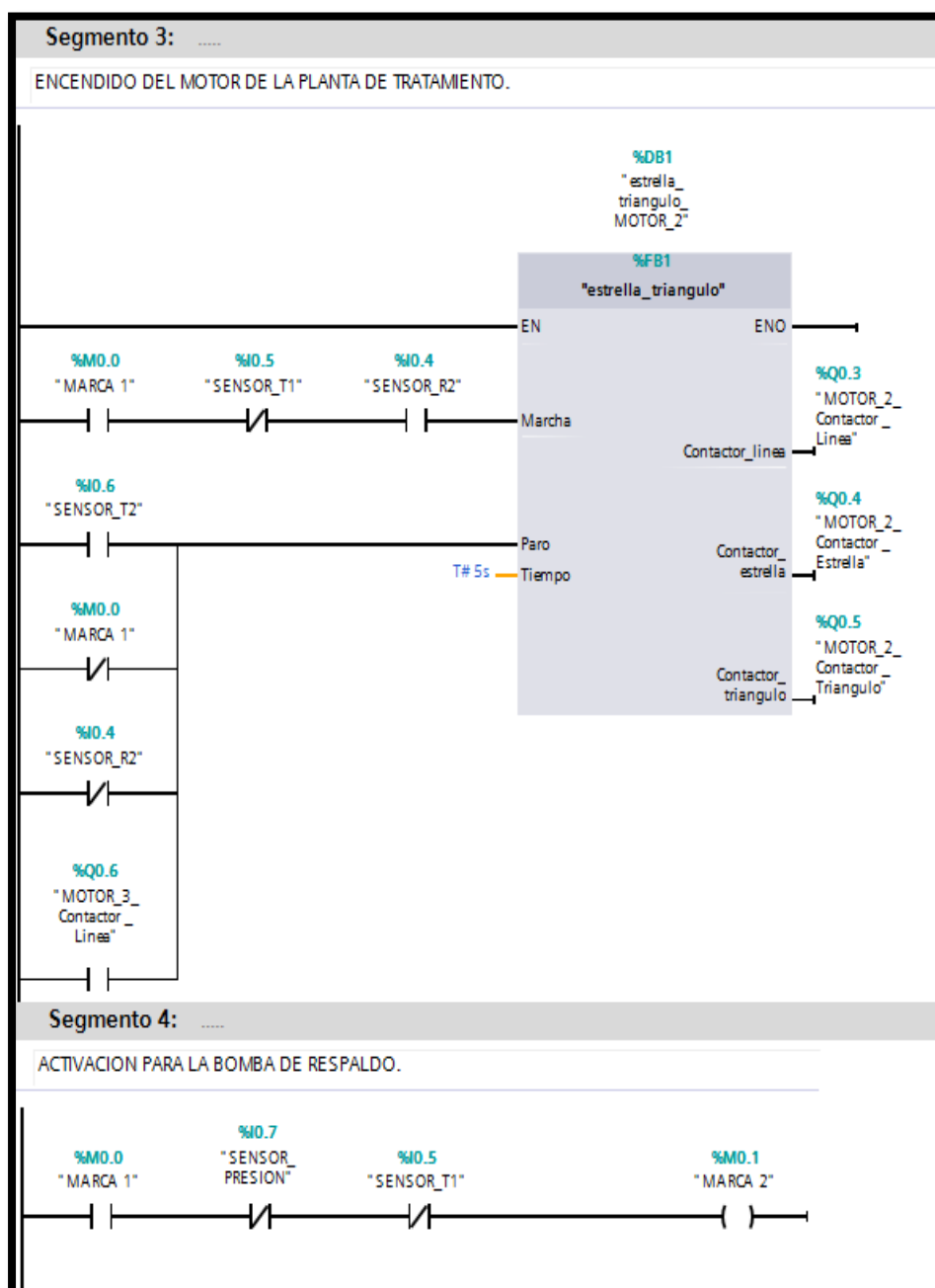


Figura 59. Condiciones para arrancar el motor 2.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se describe en el funcionamiento del sistema, el motor 3 estará condicionado por un sensor de presión que se ubicará a la salida del motor 2. Esto quiere decir que al haber alguna avería en el motor 2 y no bombee normalmente, se activará la tercera bomba de manera automática y el programa para lograrlo se muestra en la figura 60.

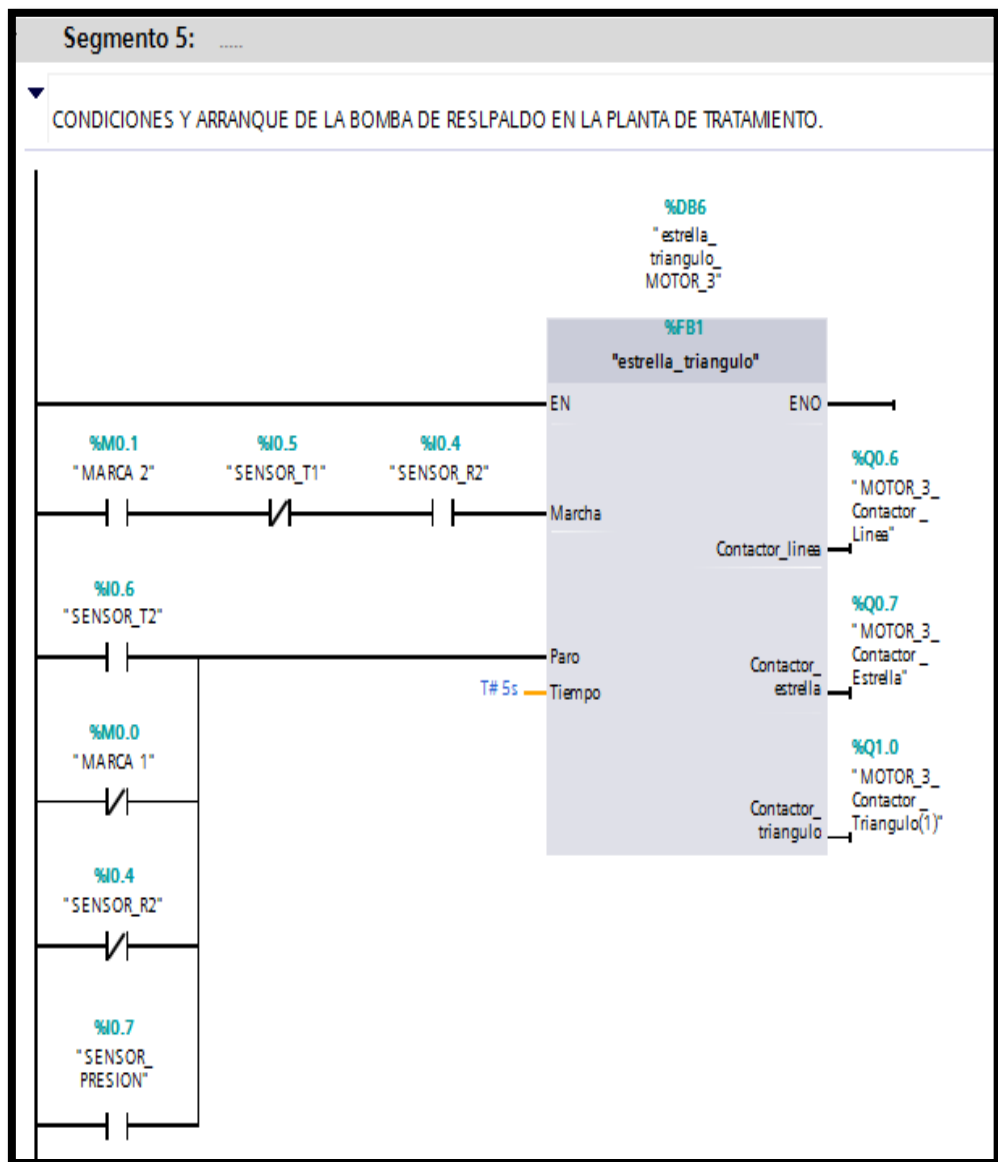


Figura 60. Condiciones para el arranque del motor 3.

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.3. REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS.

#### 3.3.1. SIMULACIÓN DEL SISTEMA.

El diseño del sistema a proponer fue simulado en el software PLCSIM, y de esta manera verificar el óptimo funcionamiento del programa.

##### a. Enlace del TIA Portal con el simulador PLCSIM.

Este simulador se puede enlazar con Tia Portal, y de esta manera interaccionar las entradas y salidas. En la Figura 61, se muestra la ventana de la conexión del Tia Portal con el simulador.

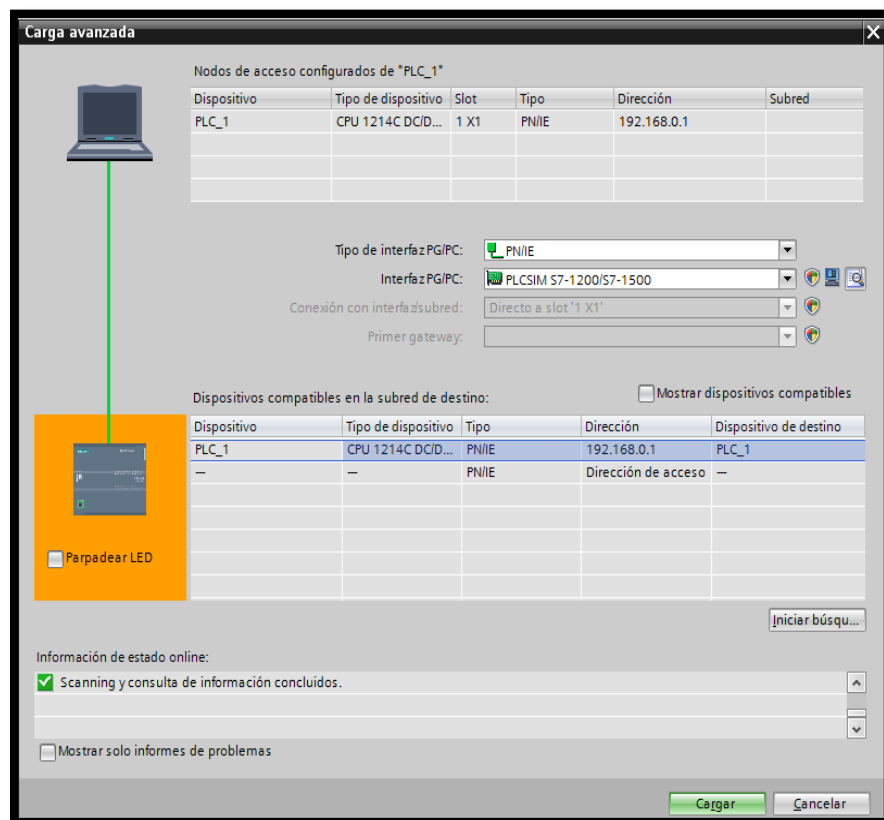


Figura 61. Enlace del Tia Portal con PLCSIM.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Tabla de entradas y salidas en el simulador PLCSIM.**

Al igual que el software de programación Tia Portal, en el software de PLCSIM también se tiene que llenar tabla de entradas y salidas que interaccionarán, tal como se muestra en la figura 62.

	Nombre	Dirección	Formato de visua..	Observar/forzar valor	Bits	Forzar coherente...	Com
<input type="checkbox"/>	*MARCHA*	%I0.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*P_E*	%I0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*SENSOR_1*	%I0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*SENSOR_R1*	%I0.3	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*SENSOR_R2*	%I0.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*SENSOR_T1*	%I0.5	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*SENSOR_T2*	%I0.6	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*SENSOR_PRESION	%I0.7	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*MOTOR_1_Cont...	%Q0.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*MOTOR_1_Cont...	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*MOTOR_1_Cont...	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*MOTOR_2_Cont...	%Q0.3	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*MOTOR_2_Cont...	%Q0.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*MOTOR_2_Cont...	%Q0.5	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*MOTOR_3_Cont...	%Q0.6	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*MOTOR_3_Cont...	%Q0.7	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	*MOTOR_3_Cont...	%Q1.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	<input type="checkbox"/>

Figura 62. Entradas y salidas en PLCSIM.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Proceso de Simulación.**

Para interaccionar con entradas y salidas, y verificar el funcionamiento del programa, se tiene que ir cambiando los estados de las entradas y ver qué es lo que sucede con las direcciones de las salidas, tal y como se muestra en la figura 63.



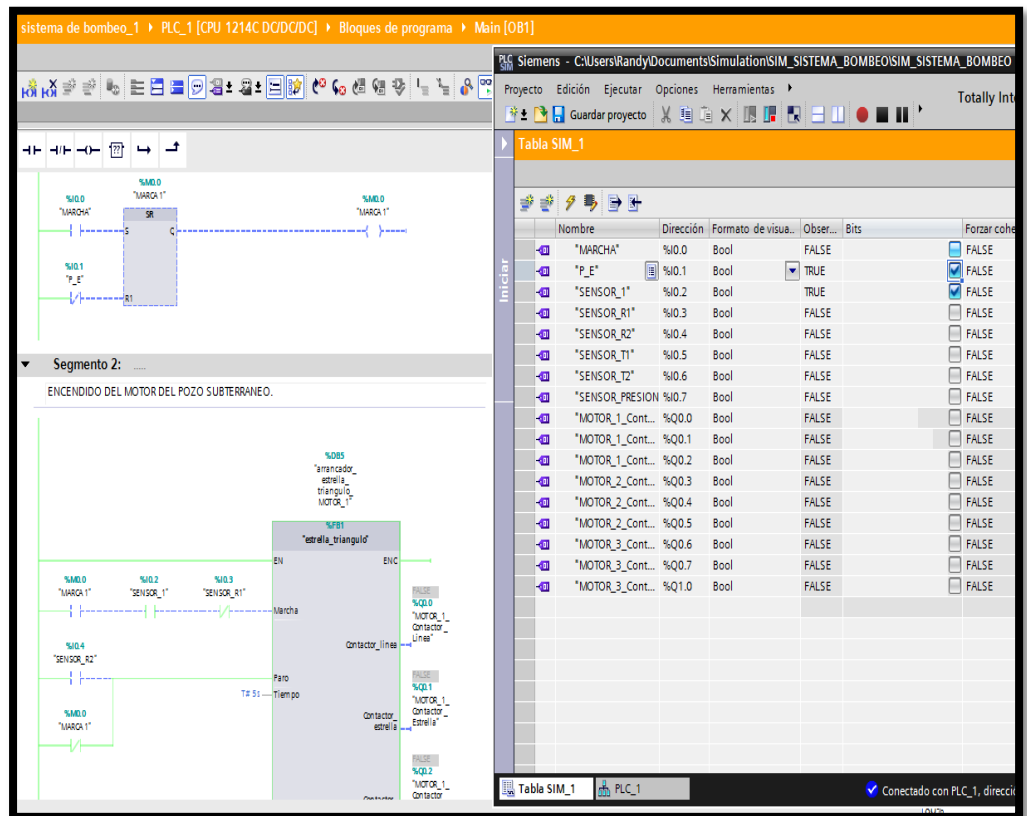


Figura 63. Interfaz de simulación en PLCSIM.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Arranque del motor 1.**

Para activar el sistema y dar inicio al proceso solo basta con activar el bit de "MARCHA". Posterior a esto y respondiendo al diseño de programación, para que se encienda el MOTOR 1, se deben cumplir dos condiciones:

- SENSOR 1: activado (indica que hay agua en el pozo subterráneo).
- SENSOR\_R1: desactivado (indica que el reservorio de la planta de tratamiento está vacía), tal como se muestra en la figura 64.

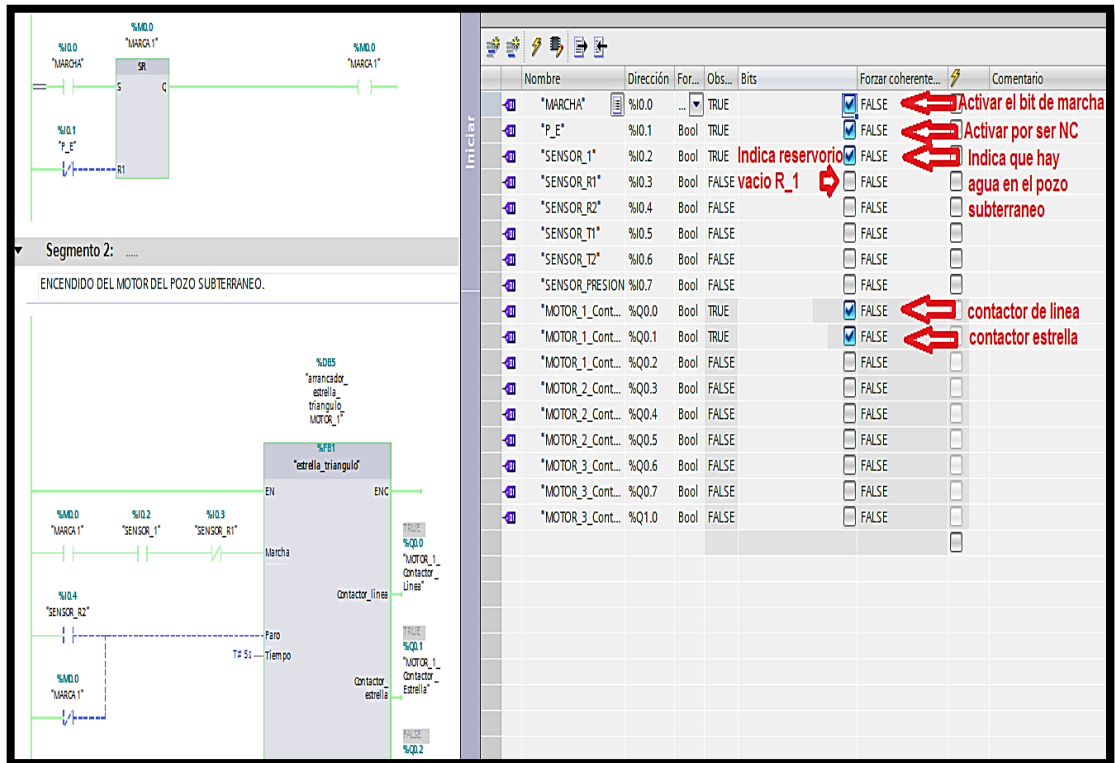


Figura 64. Encendido del motor 1 en configuración estrella.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se muestra en la figura 64, se activó los contactores de línea y estrella del MOTOR 1, luego de 7 segundos se activara automáticamente la salida del contactor de triangulo, tal como se muestra en la figura 65.

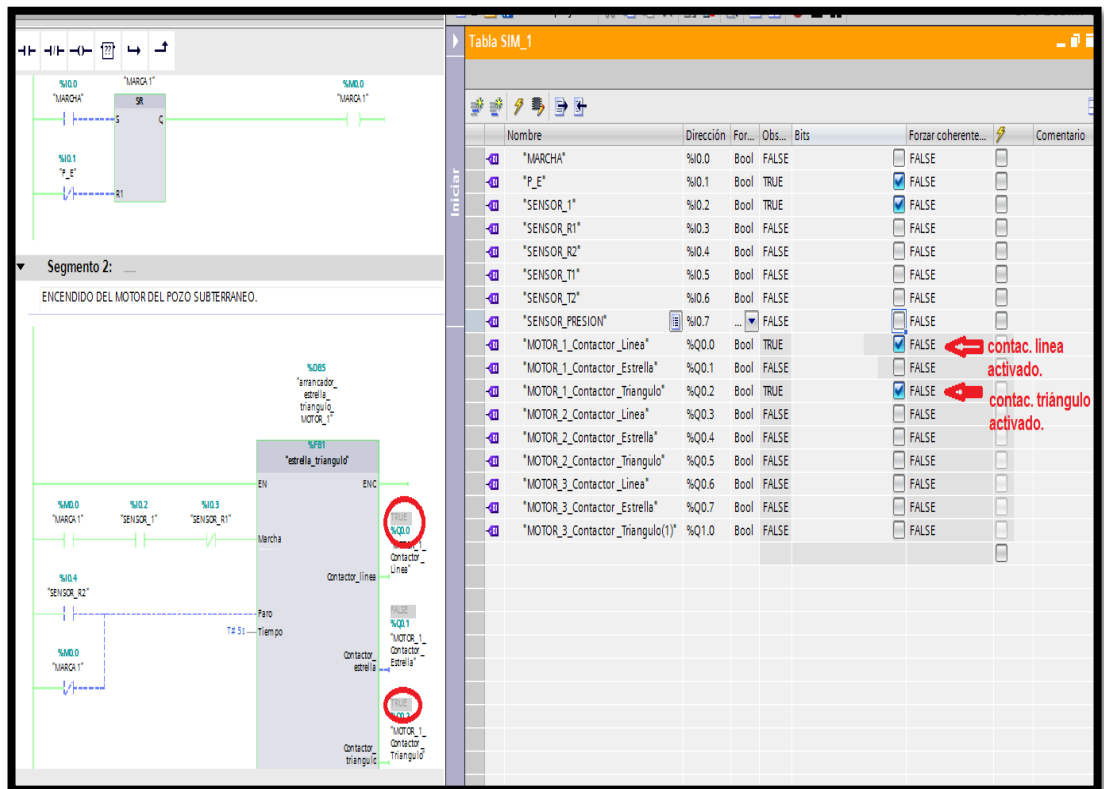


Figura 65. Encendido del motor 1 en configuración triángulo.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Arranque del motor 2.**

El motor 2 se encenderá si se cumplen las siguientes condiciones:

- SENSOR R1 y SENSOR R2: activados (indica que el reservorio de la planta de tratamiento está lleno)
- SENSOR T1 y SENSOR T2: desactivados (indica que el reservorio final está vacío).
- El arrancar el motor 2, se activara el sensor de presión.

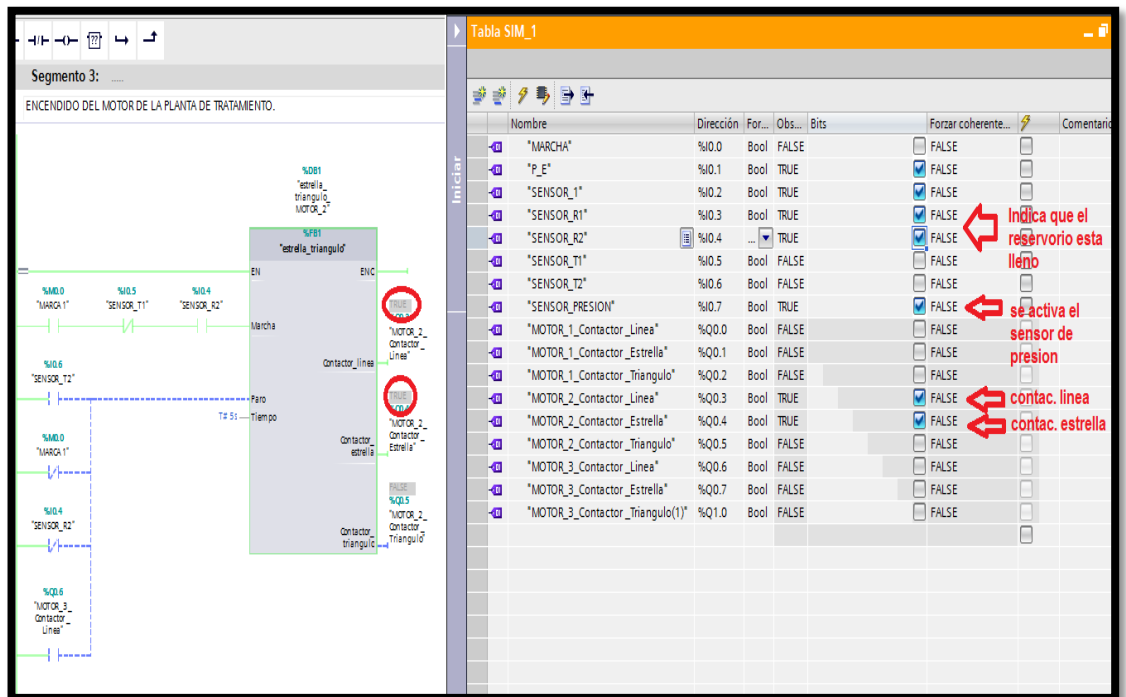


Figura 66. Encendido del motor 2 en configuración estrella.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 66 se muestra que se activaron los sensores R1 y R2, esto hizo que se desactivará los contactores del motor 1 y automáticamente se activó los contactores de línea y estrella del motor 2.

Luego de 7 segundos de funcionar en configuración estrella, los contactores del motor 2 pasarán a configuración triángulo, tal como se muestra en la figura 67.

Segmento 3: ENCENDIDO DEL MOTOR DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

Tabla SIM\_1

Nombre	Dirección	For...	Obs...	Bits	Forzar coherente...	Comentario
"MARCHA"	%I0.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"P_E"	%I0.1	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	
"SENSOR_R1"	%I0.2	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	
"SENSOR_R2"	%I0.3	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	
"SENSOR_T1"	%I0.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"SENSOR_T2"	%I0.5	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"SENSOR_PRESION"	%I0.6	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"MOTOR_1_Colector_Linea"	%Q0.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"MOTOR_1_Colector_Estrella"	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"MOTOR_1_Colector_Triangulo"	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"MOTOR_2_Colector_Linea"	%Q0.3	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	← contac. de linea activado.
"MOTOR_2_Colector_Estrella"	%Q0.4	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"MOTOR_2_Colector_Triangulo"	%Q0.5	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE	← contac. triangulo activado
"MOTOR_3_Colector_Linea"	%Q0.6	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"MOTOR_3_Colector_Estrella"	%Q0.7	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	
"MOTOR_3_Colector_Triangulo(1)"	%Q1.0	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE	

Figura 67. Encendido del motor 2 en configuración triángulo.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Arranque del motor 3.**

El motor 3 arrancará si se cumplen las siguientes condiciones:

- SENSOR R1 y SENSOR R2: activados (indica que el reservorio de la planta de tratamiento está lleno).
- SENSOR\_PRESION: desactivado.(indica que hay alguna avería en el motor 2)
- SENSOR T1 y SENSOR T2: desactivados (indica que el reservorio final esta vacío).

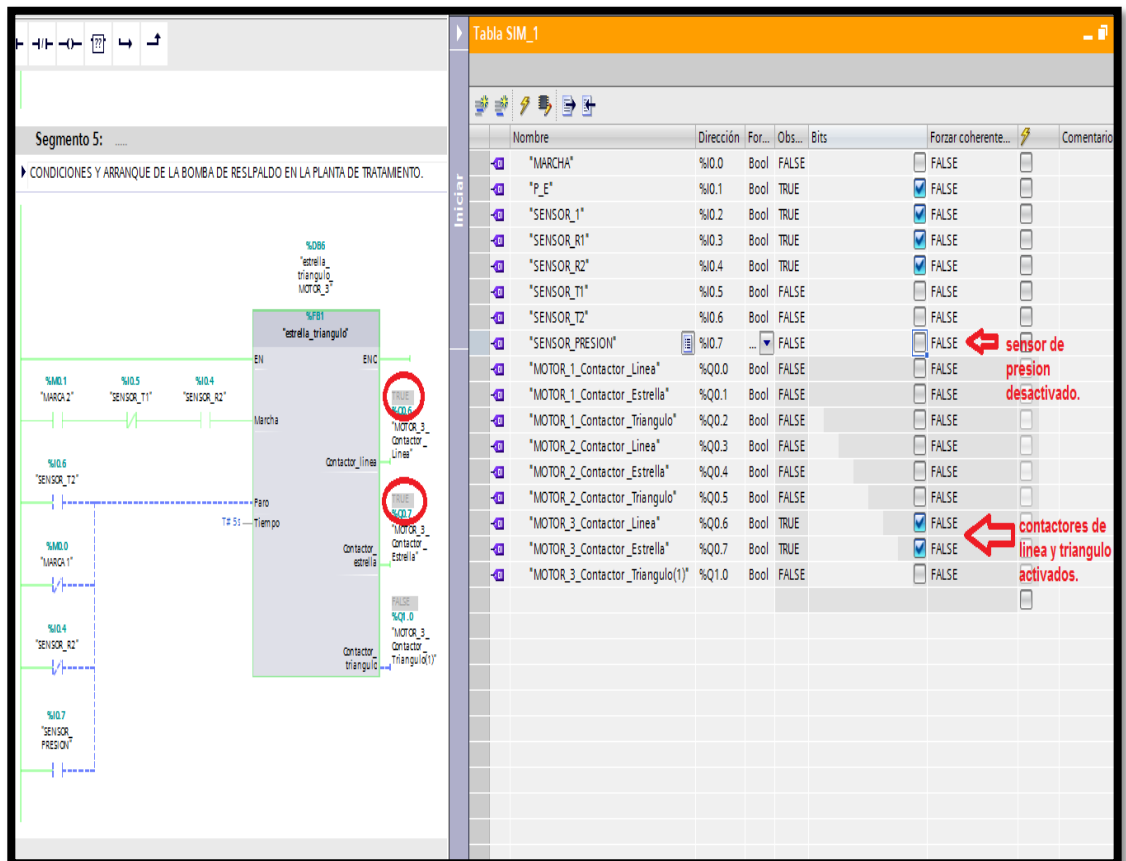


Figura 68. Encendido del motor 3 en configuración estrella.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 68, se muestra el arranque del motor 3 en configuración estrella, después de haberse cumplido las condiciones. Luego de 7 segundos el motor 3 pasara automáticamente a configuración triangulo, tal como se muestra en la figura 69.

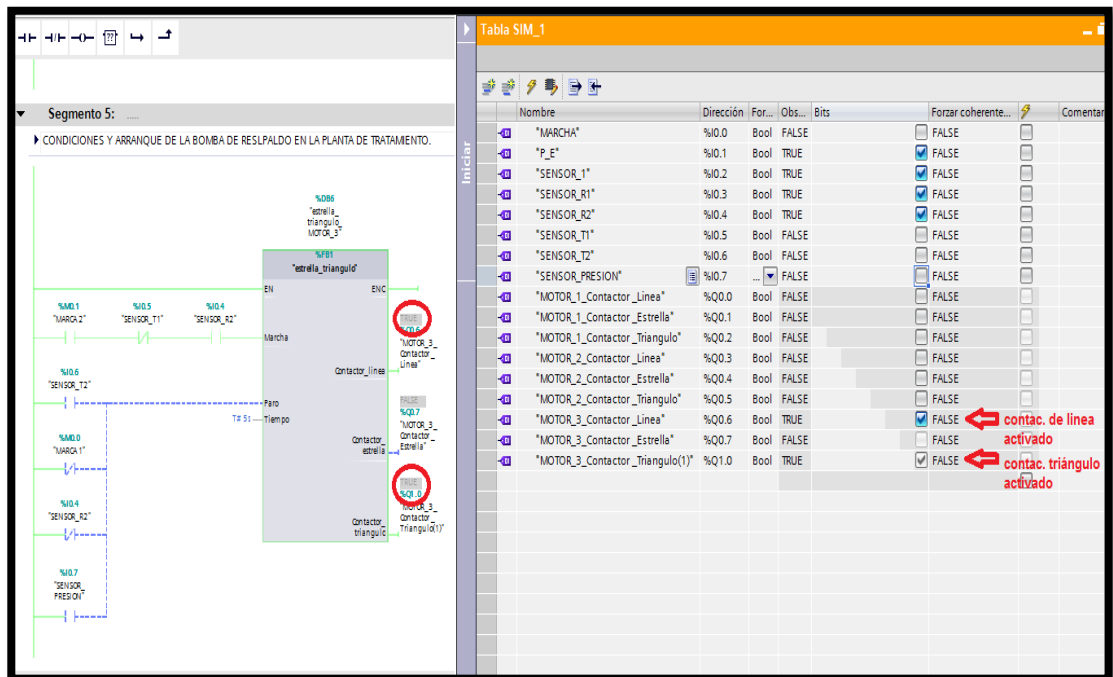


Figura 69. Encendido del motor 3 en configuración triángulo.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Fin de proceso.**

Para dar fin al proceso se tendría que tener lleno el reservorio final y esto hará que el motor de la planta de tratamiento se desactive, para esto se tienen que cumplir las siguientes condiciones:

- SENSOR T1 y SENSOR T2: activados (indican que el reservorio final está lleno)
- SENSOR R2 y SENSOR R2: activados (indican que el reservorio de la planta de tratamiento está lleno).

En la figura 70 se muestra el estado del fin del proceso.

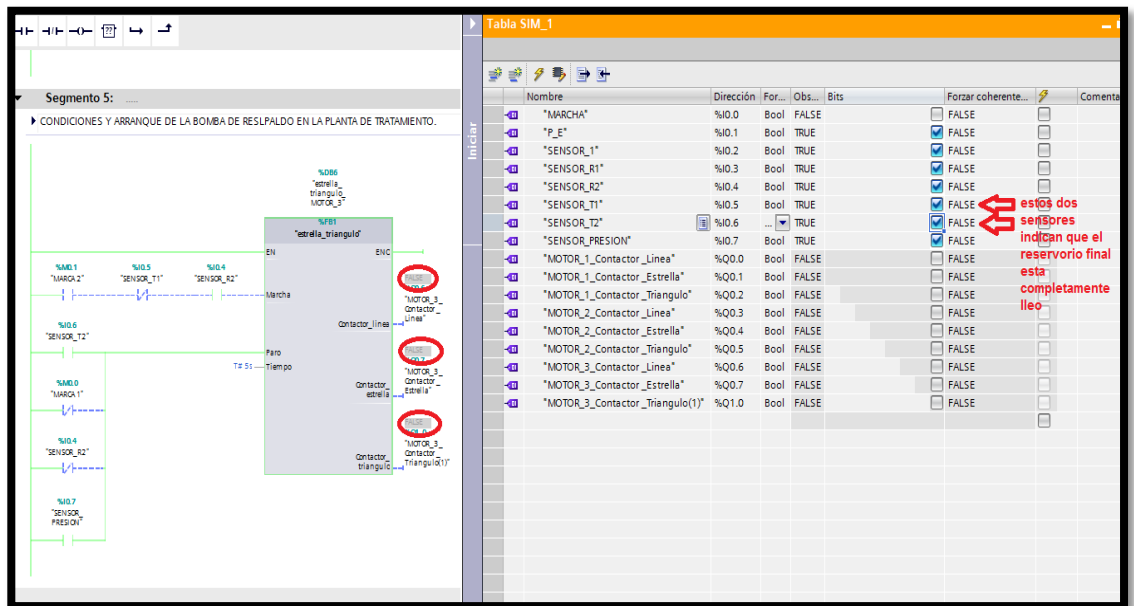


Figura 70. Fin del proceso al llenarse el reservorio final.

Fuente: Elaboración Propia.

## b. Enlace del TIA Portal con el simulador VirtualMakTCP.

Otra forma de simular y verificar el buen funcionamiento del proceso se consiguió con el software VirtualMakTCP, el cual es una interfaz más didáctica de interactuar las con las entradas y salidas del PLC.

- **Cargado del programa al simulador VirtualMakTCP.**

Para hacer la conexión y cargado del programa del PLC al simulador VirtualMakTCP se hace mediante direcciones IP, tal como se muestra en la figura 71.



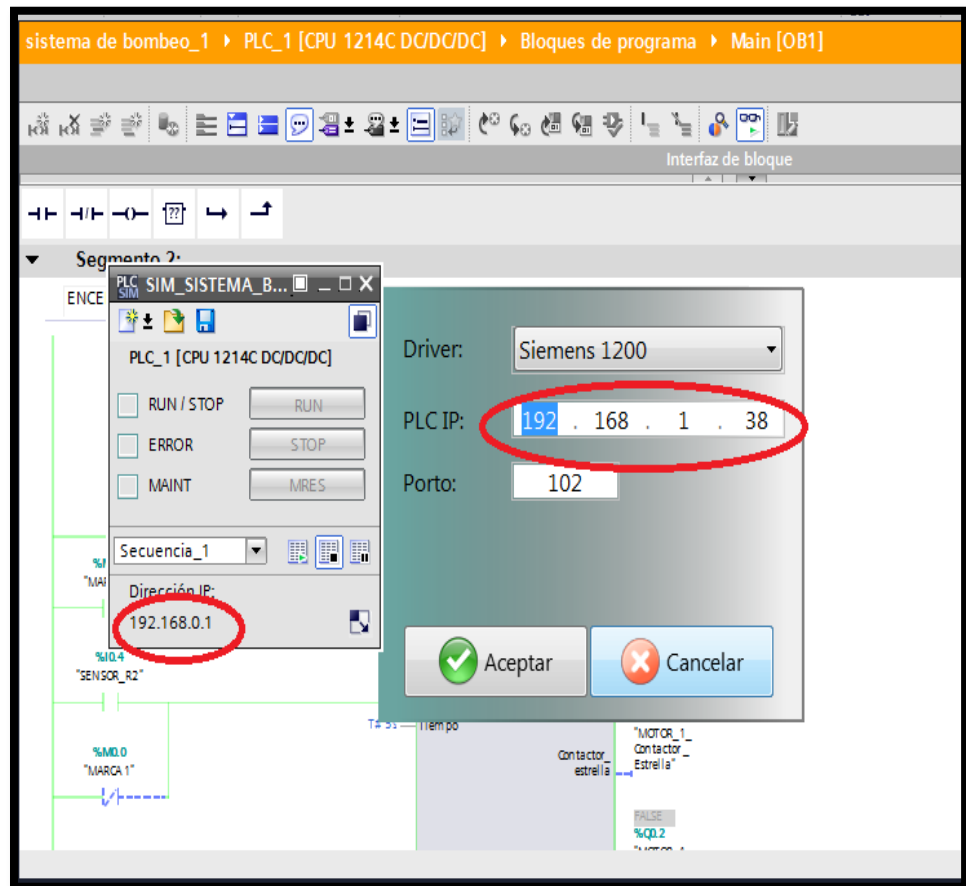


Figura 71. Interfaz de conexión del VirtualMakTCP y el TIA Portal.

Fuente: Elaboración Propia.

- **Entradas y salidas en el simulador VirtualMakTCP.**

En la figura 72, se muestra las entradas y salidas del PLC y la forma de cómo se conectarían los sensores y los contactores de los tres motores.

También se muestra que está simulando el funcionamiento el primer motor puesto que las condiciones en la entrada se están cumpliendo.

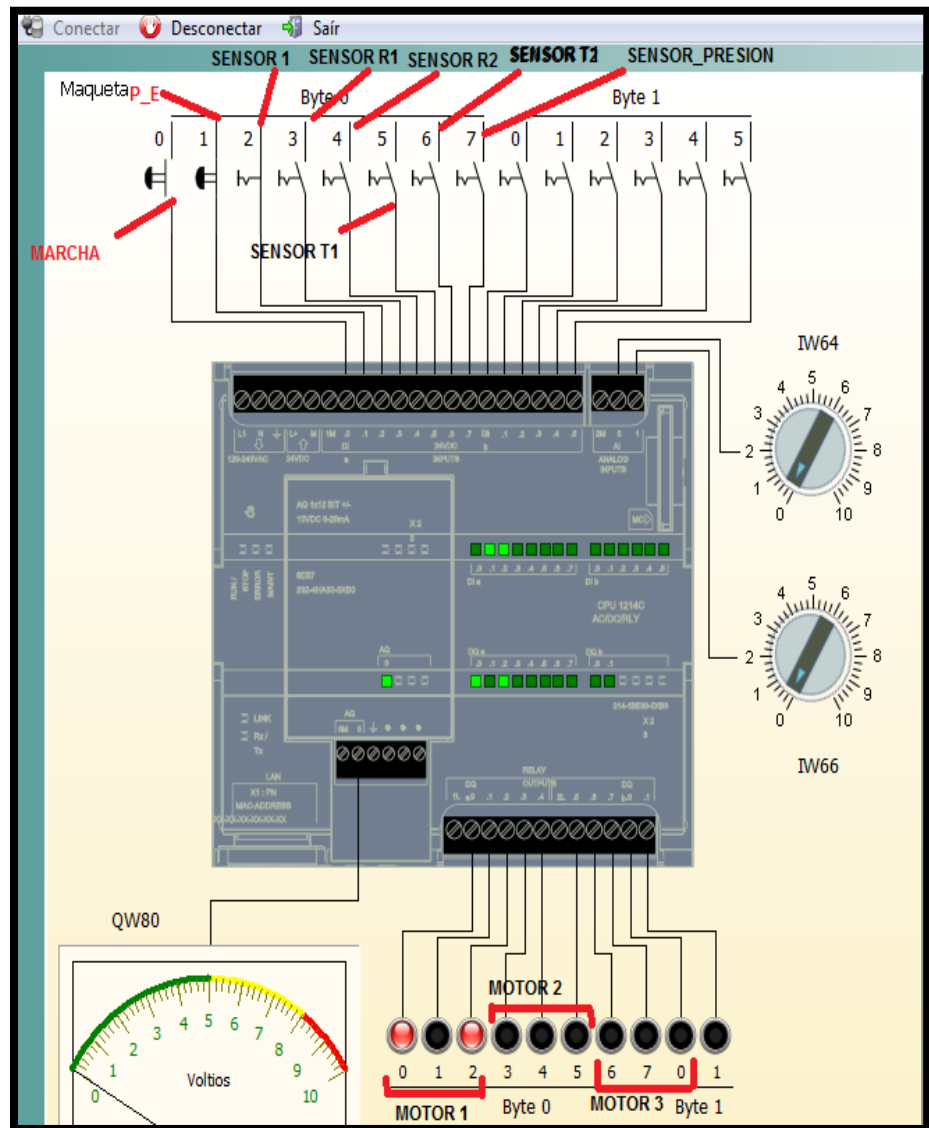


Figura 72. Software VirtualMakTCP, representando el diagrama eléctrico del sistema.

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.3.2. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN.

Para estimar los costos de implementación del sistema automatizado de bombeo, se hizo una valorización de precios de los equipos y dispositivos que se emplearan en el proyecto.

Asimismo, es importante considerar los gastos en técnicos, tal como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Costos de Implementación.

ITEM	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
<b>1.1</b>	<b>EQUIPOS ELECTRÓNICOS</b>				
1.1.1	PLC SIEMENS S7-1200	uni	1.00	2,000.00	2,000.00
1.1.2	SENSOR CAPACITIVO SCHNEIDER XT132B1FAL2	uni	2.00	680.00	1,360.00
1.1.3	SENSOR CAPACITIVO SCHNEIDER XT130B1FAL2	uni	2.00	660.00	1,320.00
1.1.4	SENSOR CAPACITIVO SCHNEIDER XMPA12B2131	uni	1.00	65.00	65.00
1.1.5	PULSADOR SCHNEIDER 9001KR1UH13	uni	2.00	130.00	260.00
1.1.6	RELÉ SCHNEIDER RPM32P7	uni	1.00	65.00	65.00
<b>1.2</b>	<b>CABLES Y ACCESORIOS</b>				
1.2.1	CABLE THW-90 CALIBRE 14AWG X 100m INDECO	uni	20.00	100.00	2,000.00
1.2.2	CABLE TW 12 AWG X 100m INDECO	uni	50.00	165.00	8,250.00
1.2.3	BORNERAS PARA ALIMENTACIÓN L3 GV2G05	uni	10.00	130.00	1,300.00
1.2.4	TABLERO DE CONTROL	uni	2.00	1,000.00	2,000.00
1.2.5	TUBERÍAS DE PVC PARA CANALIZACIÓN	uni	250.00	17.00	4,250.00
<b>1.3</b>	<b>COSTOS POR MANO DE OBRA</b>				
1.3.1	IMPLEMENTACIÓN COMPLETO DEL SISTEMA	glb	1.00	8,000.00	8,000.00
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>30,870.00</b>
<b>Gastos Generales 7 %</b>					<b>2,160.90</b>
					=====
<b>SUB TOTAL</b>					<b>33,030.90</b>
<b>IMPUESTO 18%</b>					<b>5,945.56</b>
					=====
<b>TOTAL DE PRESUPUESTO</b>					<b>38,976.46</b>

Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

- Se consiguió diseñar y simular un sistema automatizado de bombeo de agua potable utilizando PLC Siemens en el Asentamiento Humano Rinconada del Bosque Yanacoto – Chosica.
- Se logró analizar el sistema actual de bombeo manual de agua potable del Asentamiento Humano rinconada del Bosque Yanacoto – Chosica.
- Se logró diseñar un programa en el PLC S7-1200 de Siemens para automatizar el sistema de bombeo de agua.
- Se consiguió realizar verificaciones de la lógica de control mediante simulación del algoritmo de control y automatización de bombeo.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la Junta Administradora del Agua del Asentamiento Humano Rinconada del Bosque Yanacoto implementar este proyecto de sistema automatizado de bombeo para que la población tenga mejor y más tiempo el servicio de agua potable.
- Aplicando un sistema automatizado de bombeo de agua potable en la población de Yanacoto se lograría reducir la intervención de la mano del hombre en el proceso de bombeo, y esto reduciría costos mensuales en el pago de personal operario.
- Se recomienda implementar este sistema automatizado de bombeo utilizando PLC Siemens 1200, puesto que también esto serviría para un futuro proyecto de automatización del sistema de distribución del agua, ya que en la actualidad este proceso también es manual y deficiencias en el servicio.
- Implementando el sistema automatizado de bombeo de agua potable en la población de Yanacoto, también se podría acoplar un sistema que analice los niveles de cloro del agua, y de esta manera cuidar la salud de la población.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] SÁNCHEZ PÉREZ, Joselito

2011. Diseño e implementación de un sistema de automatización para mejorar la producción de carretos en la empresa la casa del tornillo srl. Chiclayo – Perú.

[2] PIEDRAFITA MORENOE, Ramon

2004. Ingeniería de la automatización industrial.

[3] Josep BALCELLS, José Luis ROMERAL, José Luis ROMERAL MARTÍNEZ.

1997. Autómatas programables.

[4] PORRAS, ALEJANDRO Y MONTAÑERO.

1991. Autómatas programables.

[5] Blog: TEORIA DE LA AUTOMATIZACIÓN

<http://goo.gl/oyFR4o>

[6] CEMBRANOS NISTRAL, Jesús.

2008. Automatismos eléctricos neumáticos e hidráulicos, Madrid – España.

[7] TECSUP

2010. PLC 1 Programación y aplicaciones. Lima – Perú.

[8] DOMINGO PEÑA, Joan.

2003. Introducción a los autómatas programables.

[9] GARCIA LOPEZ Ivan, NUÑES CADENA David.

2007. Propuesta de automatización de un sistema de bombeo de agua potable. Mexico .

[10] 2011, Organización Panamericana de la Salud.

[11] FUENTES YAGUE, Luis.

2002. Aguas subterráneas. Madrid – España.

[12] SIEMENS.

Simatic S7 – Controlador Lógico Programable, Manual de sistema.

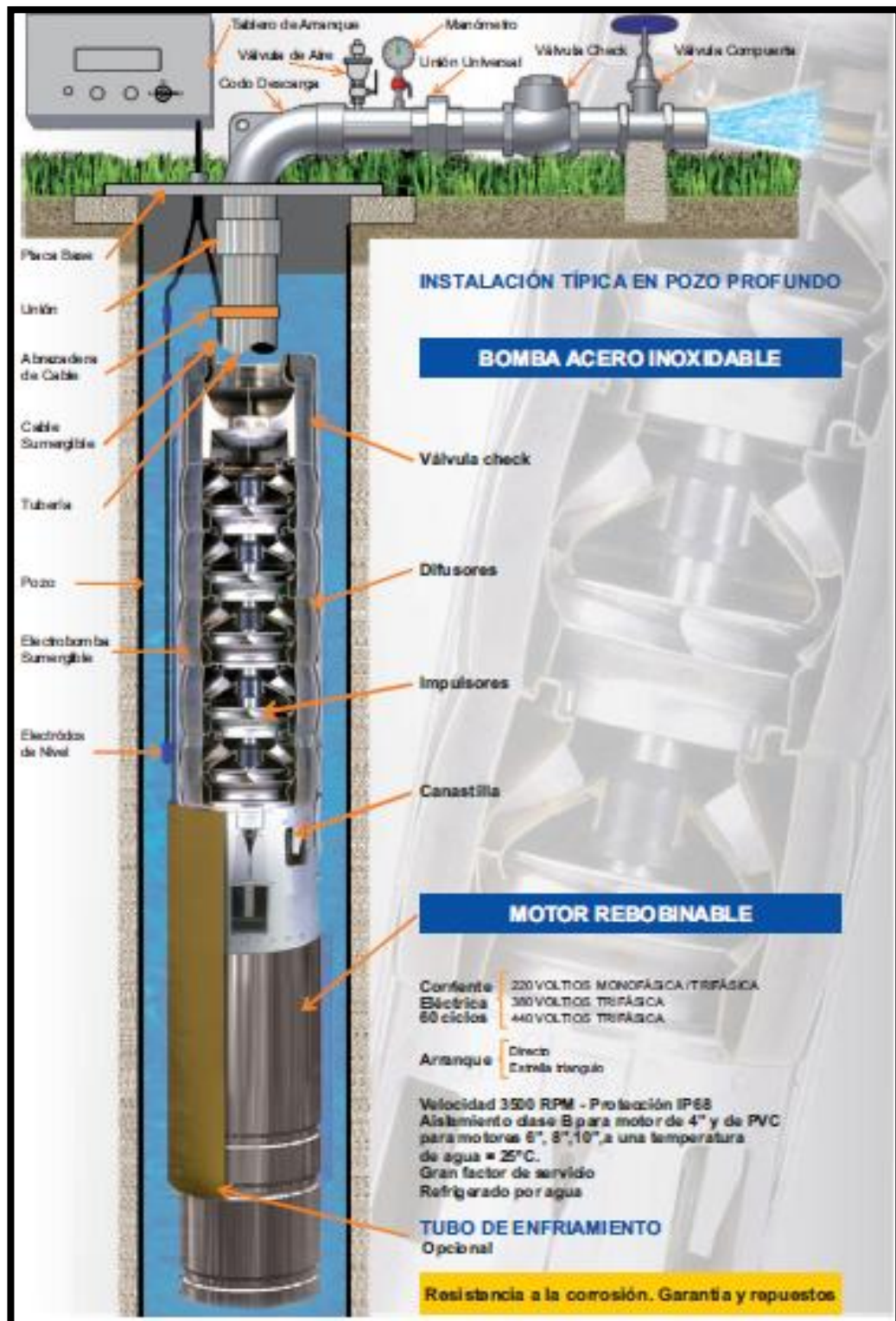
## ANEXOS

### Anexo 1. Cuadro de características de PLC.

Función	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75		110 x 100 x 75
Memoria de usuario			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memoria de trabajo</li> <li>• Memoria de carga</li> <li>• Memoria remanente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 25 KB</li> <li>• 1 MB</li> <li>• 2 KB</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 KB</li> <li>• 2 MB</li> <li>• 2 KB</li> </ul>
E/S integradas locales			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digitales</li> <li>• Analógicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 entradas/4 salidas</li> <li>• 2 entradas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 entradas/6 salidas</li> <li>• 2 entradas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 14 entradas/10 salidas</li> <li>• 2 entradas</li> </ul>
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)		
Área de marcas (M)	4096 bytes		8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	Ninguna	2	8
Signal Board	1		
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)		
Contadores rápidos	3	4	6
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fase simple</li> <li>• Fase en cuadratura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 a 100 kHz</li> <li>• 3 a 80 kHz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 a 100 kHz</li> <li>• 1 a 30 kHz</li> <li>• 3 a 80 kHz</li> <li>• 1 a 20 kHz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 a 100 kHz</li> <li>• 3 a 30 kHz</li> <li>• 3 a 80 kHz</li> <li>• 3 a 20 kHz</li> </ul>
Salidas de impulsos	2		
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)		
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C		
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		



Anexo 2. Partes de bomba Hidroal.



## Sensores de Presión Osisense XM



9013FSG2

### Presostatos electromecánicos

Tipo 9013FSG - Para circuitos de potencia - Nema 3R

fluidos: Agua (fresca y de mar) - 30 a 125° C

Diferencial ajustable (regulación entre 2 umbrales)

Rango ajustable	Conexión de fluido	Conexión eléctrica	Salida	Referencia	Precio S/.	Cantidad Indivisible
1.38...2.75 bar (20...40 psi)	1/4" NPSF interno	2 entradas de ø 3/4	2 NC	9013FSG2J20	53.10	1



XMPA12B2131

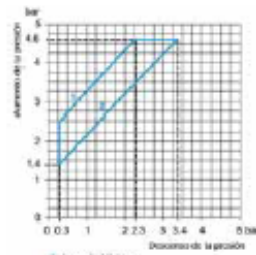
Tipo XMP - Para circuitos de Potencia - IP 54

fluidos: Aire, Agua (fresca y de mar) - 0 a 70° C

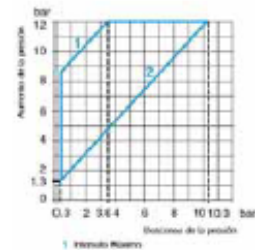
Diferencial ajustable (regulación entre 2 umbrales)

Rango HP ajustable (para punto alto)	Conexión de fluido	Conexión eléctrica	Salida	Referencia	Precio S/.	Cantidad Indivisible
1.3...12 bar (18.85...174 psi)	G 1/4	2 entradas de prensaestopa N° 13	2 polos - NC	XMPA12B2131	80.10	1

Curvas de Operación



9013FSG2.20



XMPA12B2131



XMAV12L2135

Tipo XMA - Para circuitos de control - IP 54

fluidos: Aire, Agua (fresca y de mar) - 0 a 70° C

Diferencial ajustable (regulación entre 2 umbrales)

Rango HP ajustable (para punto alto)	Conexión de fluido	Conexión eléctrica	Salida	Referencia	Precio S/.	Cantidad Indivisible
1...6 bar (14.5...87 psi)	G 1/4	2 entradas de prensaestopa N° 13	1 NANC	XMAV06L2135	160.80	1
1.3...12 bar (18.9...174 psi)				XMAV12L2135	161.90	1
3.5...25 bar (50.75...362.5 psi)				XMAV25L2135	206.10	1

Curvas de Operación