



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL FLUJO DE AGUA A PARTIR DE
UNA MEDICIÓN REALIZADA POR SENSORES DE HUMEDAD DE TIERRA**

Betsy Analí Bojórquez Lemus

Asesorado por el Ing. Romeo Neftalí López Orozco

Guatemala, octubre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL FLUJO DE AGUA A PARTIR DE
UNA MEDICIÓN REALIZADA POR SENSORES DE HUMEDAD DE TIERRA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BETSY ANALÍ BOJÓRQUEZ LEMUS

ASESORADO POR EL ING. ROMEO NEFTALÍ LÓPEZ OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADORA	Inga. María Magdalena Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL FLUJO DE AGUA A PARTIR DE UNA MEDICIÓN REALIZADA POR SENSORES DE HUMEDAD DE TIERRA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 5 de mayo de 2016.

Betsy Analí Bojórquez Lemus



Guatemala, 26 de septiembre 2016

Ingeniero

Francisco González López

Director

Escuela Mecánica Eléctrica

Facultad de Ingeniería

USAC

Ingeniero González.

Por la presente le informo que he asesorado y revisado el trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL FLUJO DE AGUA A PARTIR DE UNA MEDICIÓN REALIZADA POR SENSORES DE HUMEDAD DE TIERRA**, desarrollado por la estudiante **Betsy Analí Bojórquez Lemus**. Después de revisar su contenido final considero que satisface el objetivo del mismo y lo apruebo como trabajo de graduación.

Agradeciendo su amable atención y colaboración a la presente, me es grato suscribirme, deseándole éxito en sus labores cotidianas.

Atentamente.

Ing. Romeo Neftalí López Orozco.

Colegiado 3364

ASESOR



Ref. EIME 62. 2016.
Guatemala, 7 de OCTUBRE 2016.

Señor Director
Ing. Francisco Javier González López
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL FLUJO DE AGUA A
PARTIR DE UNA MEDICIÓN REALIZADA POR SENSORES DE
HUMEDAD DE TIERRA,** de la estudiante **Betsy Analí Bojórquez
Lemus,** que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. **Carlos Eduardo Guzmán Salazar**
Coordinador Área Electrónica



SFO



REF. EIME 62. 2016.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **BETSY ANALÍ BOJÓRQUEZ LEMUS** titulado: **DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL FLUJO DE AGUA A PARTIR DE UNA MEDICIÓN REALIZADA POR SENSORES DE HUMEDAD DE TIERRA,** procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López



GUATEMALA, 13 DE OCTUBRE 2016.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

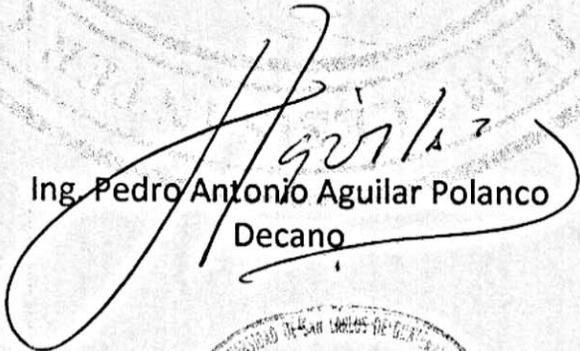


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 530.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL FLUJO DE AGUA A PARTIR DE UNA MEDICIÓN REALIZADA POR SENSORES DE HUMEDAD DE TIERRA**, presentado por la estudiante universitaria **Betsy Analí Bojórquez Lemus**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, octubre de 2016

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la oportunidad de realizar mis sueños, por ser esa fuerza interior que siempre me empuja a seguir, mejorar y no desmayar.
- Mis padres** Cergio Noel Bojórquez Medina y Betzy Elena Lemus Sandoval de Bojórquez por hacer todo en la vida para que yo logre mis sueños, por su motivación y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba; por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.
- Mis hermanos** Boris Josué y Sergio Andrés Bojórquez Lemus por su ejemplo, motivación y recordarme que detrás de cada detalle existe el suficiente alivio para empezar nuevas búsquedas
- Mis abuelos** Marcial y Teresa que desde el cielo celebran mi triunfo. Amílcar Lemus, el mejor ejemplo de superación y rectitud, por ser la inspiración y fuerza para cada día despertarme con ganas de alcanzar el éxito y luchar por cada una de mis metas, sueños y anhelos. Siempre cuidándome y guiándome desde el cielo. Aydée Sandoval

de Lemus por estar siempre en los momentos importantes de mi vida, por los valores y aportes invaluable que han sido de gran ayuda y crecimiento personal.

Mi tío

Boris Lemus por ser un segundo padre, por siempre apoyarme y creer en mí.

Mis amigos

Quienes han sido mi segunda familia durante la vida y carrera, gracias por el ánimo, aprendizaje, respeto, apoyo y, sobre todo, su amistad.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Alma mater, casa de estudios que considero un hogar, que me ayudó a desarrollarme como estudiante y persona.

Facultad de Ingeniería

Fuente donde obtuve y desarrollé conocimientos que apliqué a lo largo de mi carrera, que son y serán fundamentales para mi desarrollo personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida y permitirme este logro.
Betzy Lemus de Bojórquez	Por ser una gran madre, amiga, mentora y gran apoyo durante mi desarrollo personal y profesional.
Ing. Romeo López	Por su asesoría y apoyo en este trabajo de graduación.
Ing. Carlos Guzmán	Por su apoyo y seguimiento en el transcurso de la preparación del trabajo de graduación.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la cuna de los conocimientos adquiridos como estudiante y como persona que aplicaré en mi diario vivir.

1.2.2.	Automatización programable.....	20
1.2.2.1.	Características	20
1.2.2.2.	Ejemplos.....	21
1.2.3.	Automatización flexible.....	21
1.2.3.1.	Características	21
1.2.3.2.	Ejemplos.....	21
1.3.	Clases de automatización	22
1.3.1.	Neumática	22
1.3.2.	Hidráulica	23
1.3.3.	Mecánica.....	23
1.3.4.	Electrónica.....	24
1.4.	Sistema de control automático	24
1.4.1.	Sistema de control manual.....	26
1.4.2.	Sistema de control semiautomático.....	26
1.4.3.	Sistema de control automático	26
1.4.4.	Sistema de control de lazo abierto	27
1.4.5.	Sistema de control de lazo cerrado	28
1.4.6.	Realimentación en un sistema de control automático.....	30
1.4.6.1.	Amplificadora.....	31
1.4.6.2.	Red de realimentación	32
1.4.6.3.	Comparador	32
1.4.6.4.	¿Cómo funciona la realimentación?	34
1.4.6.5.	La realimentación como efecto en la estabilidad	37
1.4.6.6.	La realimentación como efecto en la ganancia.....	37
1.4.6.7.	La realimentación como efecto en la sensibilidad.....	37

	1.4.6.8.	La realimentación como efecto en el ruido.....	37
	1.4.6.9.	Modos de control de un sistema de control automático	38
1.5.		Aplicación de la automatización	40
	1.5.1.	Invernaderos.....	41
	1.5.2.	Industria química	41
	1.5.3.	Aviación	42
	1.5.4.	Industria automotriz	42
	1.5.5.	Hogar.....	43
	1.5.6.	Riego	43
1.6.		Ventajas y desventajas.....	44
	1.6.1.	Ventajas.....	44
	1.6.2.	Desventajas	45
2.		DISEÑO DE HARDWARE DEL SISTEMA AUTOMATIZADO.....	47
	2.1.	Fuente de alimentación para el sistema	47
		2.1.1. Energía	50
		2.1.1.1. Energía solar	50
		2.1.1.2. Panel solar.....	52
		2.1.1.3. Fuente de alimentación para el diseño del sistema de automatización.....	57
	2.2.	Microcontrolador: Arduino.....	60
	2.3.	Etapas de sensado y automatización	65
3.		DISEÑO DE SOFTWARE DEL SISTEMA AUTOMATIZADO	73
	3.1.	Código para el control del sistema	74

4.	DISEÑO FINAL DEL SISTEMA AUTOMATIZADO	77
4.1.	Características del sistema	78
	CONCLUSIONES.....	85
	RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFÍA.....	89
	APÉNDICE	93
	ANEXO.....	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Elementos de un proceso automático	2
2.	Clasificación de los sensores	3
3.	Circuito electrónico de <i>joystick</i> con potenciómetros	5
4.	Sensor capacitivo	6
5.	Sensor inductivo	7
6.	Clasificación de los actuadores	8
7.	Componentes de un PLC	11
8.	Microcontrolador	12
9.	Características de ATMEGA328	16
10.	Diagrama de un sistema de control automático	25
11.	Sistema de control de lazo abierto	28
12.	Sistema de control de lazo cerrado simple	29
13.	Sistema de control sin realimentación y con realimentación	31
14.	Realimentación positiva	33
15.	Realimentación negativa	33
16.	Control PID	40
17.	Circuito eléctrico simple	48
18.	Representación de la corriente alterna	49
19.	Representación de la corriente continua	49
20.	Estructura de la célula solar	55
21.	Características de los tipos de paneles solares	56
22.	Panel solar propuesto	57
23.	Baterías recargables	58

24.	Convertidor elevador de voltaje DC-DC	59
25.	Circuito esquemático para la fuente de alimentación del sistema.....	60
26.	Arduino Nano	62
27.	Comparación entre la familia Arduino	64
28.	Diseño esquemático de Arduino Nano.....	65
29.	Sensor de humedad de tierra HL-69.....	67
30.	Terminales del módulo HL-69	68
31.	Circuito de control del módulo HL-69.....	68
32.	Módulo relé para Arduino.....	69
33.	Electroválvula	69
34.	Circuitos esquemáticos de la etapa de sensado y automatización	71
35.	Código en Arduino Nano para la medición de humedad y paso de agua.....	75
36.	Código en Arduino IDE	76
37.	Diagrama de bloques del diseño del sistema de automatización para el flujo de agua a partir de una medición del sensor de humedad de tierra.....	77
38.	Primer escenario de aplicación del sistema automatizado	80
39.	Segundo escenario de aplicación del sistema automatizado.....	81
40.	Simbología para escenarios de aplicación del sistema automatizado	82
41.	Circuito esquemático para el sistema de automatización para el flujo de agua a partir de una medición del sensor de humedad de tierra.....	83

TABLAS

I.	Características del convertidor elevador de voltaje DC-DC	60
II.	Especificaciones del Arduino Nano.....	62

III.	Características del HL-69.....	67
IV.	Características de electroválvula	71
V.	Presupuesto	84

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Amperios
AC	Corriente alterna
CI	Circuito integrado
CISC	Computadores de juego de instrucciones complejo
CNC	Control numérico computarizado
DC	Corriente continúa
FTDI	Future Technology Devices International
GND	Ground
I	Corriente
I2C	Inter-Integrated Circuit
mAh	Miliamperios hora
Mpa	Megapascal
NiMh	Níquel hidruro metálico
P	Potencia
PCB	Printed Circuit Board
PIC	Controlador de Interfaz Periférico
PLC	Controlador lógico programable
RISC	Computadoras de juego de instrucciones reducido
Rx	Recepción
SISC	Computadoras de juego de instrucciones específico
SPI	Serial Peripheral Interface
Tx	Transmisión
UART	Universal Asíncrono Recepción y Transmisión
V	Voltios
W	Watts

Ω

Omega, unidad de la resistencia eléctrica en el Sistema Internacional de Unidades.

GLOSARIO

Baudio	Unidad de medida en telecomunicaciones que se refiere al número de símbolos por segundo en un medio de transmisión.
Bit	Número binario que puede estar encendido (1, alto) o apagado (0, bajo).
Bobina	Elemento fundamental de sistemas eléctricos, construido con numerosas vueltas de alambre alrededor de un núcleo ferromagnético o de aire.
Ciclo de reloj	Hace referencia a la velocidad del procesador del microcontrolador y se mide en megahercios (MHz).
Circuito de disparo	Indica el comienzo de la parte útil de la señal de entrada según un nivel de referencia.
Circuito integrado	Estructura minúscula que contiene un amplio número de dispositivos electrónicos diseñados para realizar un conjunto particular de funciones.
Circuito comparador	Compara una tensión variable con otra tensión fija que se utiliza como referencia.

Código	Conjunto de símbolos que representa una información codificada.
Conductividad	Propiedad natural de los cuerpos que permiten el paso a través de sí del calor o la electricidad, como por ejemplo, el cobre.
Conductores	Materiales que permiten un flujo generoso de electrones con muy poco voltaje aplicado.
Cortocircuito	Conexión directa de bajo valor resistivo que puede alterar considerablemente el comportamiento de un elemento o sistema.
Diodo	Dispositivo semiconductor cuyo comportamiento es muy parecido al de un interruptor sencillo; un diodo pasará corriente en una sola dirección al operar dentro de límites específicos.
Efecto de carga	Tiene que ver con el error en la medición de un determinado parámetro cuando se emplea un determinado instrumento que modifica el sistema a medir.
Electrón	Partícula con polaridad negativa que orbita el núcleo del átomo.
Fotón	Partícula mínima de energía luminosa que se produce, se transmite y se absorbe.

FTDI	Empresa que desarrolla, fabrica, y da apoyo a dispositivos y sus correspondientes controladores de software para la conversión de transmisiones serie RS-232 o TTL a señales USB.
Ganancia	Magnitud que expresa la relación entre la amplitud de una señal de salidas respecto a la señal de entrada. Se mide en belio (B).
Led	Diodo emisor de luz. Componente electrónico cuya función principal es convertir la energía eléctrica en una fuente luminosa.
Ley de Ohm	Ecuación que establece una relación entre la corriente, el voltaje y la resistencia de un sistema eléctrico.
Ohm	Unidad de medición aplicada a la resistencia.
PCB	Se utiliza para apoyar mecánicamente y conectar eléctricamente componentes electrónicos usando las vías de conducción, grabado de placas de cobre laminadas sobre un sustrato no conductor.
PIC	Circuito integrado programable el cual contiene todos los componentes para poder realizar y controlar una tarea.

PLC	Dispositivo electrónico que puede ser programado por el usuario para ser utilizado en la industrial con el fin de resolver problemas de secuencia en la maquinaria o procesos.
Potencia	Indicación de cuánto trabajo puede ser realizado en una cantidad específica de tiempo. Se mide en Joules/segundo (J/s) o watts (W).
Radiación solar	Conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.
Regulador	Dispositivo electrónico capaz de mantener un nivel de tensión constante.
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.
Resistencia <i>pull-up</i>	Resistores que generalmente se conectan entre una entrada de señal lógica y la terminal positiva de la fuente de alimentación.
Resistencia	Medida de la oposición al flujo de carga a través de un material.
Semiconductor	Material que tiene un valor de conductancia entre el de un aislante y el de un conductor.

SPI	Estándar de comunicaciones usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos.
UART	Interfaz de comunicación serie que sirve de base para muchos protocolos como RS-232.
Válvula	Dispositivo que abre o cierra el paso de un fluido por un conducto en una máquina gracias a un mecanismo.

RESUMEN

La realización del diseño de automatización para el flujo de agua a partir de una medición realizada por sensores de humedad de tierra pretende ayudar a que el riego en las áreas recónditas de Guatemala sea eficiente e inteligente, y contribuya con el ahorro de agua el cual es un recurso vital.

Esto mejoraría sustancialmente el consumo y utilización de agua automatizando el proceso de riego siendo esta aprovechada cuando sea necesario según la humedad presente en la tierra, en puntos claves, para obtener un mayor rendimiento y ahorro del agua, y mayor productividad en los cultivos.

Dicho diseño estaría formado por un microcontrolador energizado por la radiación solar, el cual será el cerebro que controlará la electroválvula según la señal que reciba del sensor de humedad de tierra, para permitir o no el paso del agua, que es el objetivo principal. Las mediciones sensadas podrán ser monitoreadas por una computadora que esté conectada al microcontrolador.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema automatizado para el flujo de agua a partir de una medición realizada por sensores de humedad de tierra.

Específicos

1. Establecer los fundamentos de automatización.
2. Identificar el proceso de diseño de hardware del sistema automatizado.
3. Identificar el proceso de diseño de software del sistema automatizado.
4. Presentar el diseño final del sistema automatizado.

INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país eminentemente agrícola, se puede afirmar que la base de su economía es la agricultura, actividad que requiere mayor demanda del agua. Sin embargo, en países en vías de desarrollo como el nuestro, la mayoría de la población produce el agua para el autoconsumo y utiliza la técnica de riego tradicional, la cual no permite ahorrar agua ya que se desperdicia regando más de la cuenta, no regando directamente en la raíz de la siembra y regando cuando la tierra todavía está húmeda; se estima que el desperdicio de agua con esta técnica es alto, aunado a la pérdida de agua debido a la evaporación en terrenos abiertos, lo que refleja un mal aprovechamiento de este importante recurso y ocasiona que cada vez el mismo sea más escaso.

La agricultura familiar campesina produce el 70 % de los alimentos que llegan a la mesa, ocupa al 38 % de la PEA, Población Económicamente Activa, (1,9 millones de personas), 1 299 377 familias rurales dependen de la actividad agropecuaria, 890 000 hectáreas se utilizan en cultivos anuales (maíz, frijol y arroz) y aproximadamente 5 millones de personas se benefician directamente de esta actividad, contribuye con un 14 % a la conformación del PIB nacional, representa la inversión más importante a nacional dinamiza el comercio local, regional e internacional, y al practicarse de forma sustentable favorece el medio ambiente.¹

La mayoría de pequeños y medianos agricultores, utilizan para el riego, una bomba cuya ubicación es dentro o sobre la superficie de un pozo. Esta bomba es conectada a una manguera y con ella se riegan los cultivos; esta manguera puede tener fugas en su material o entre la conexión de la manguera-bomba, lo cual genera un desperdicio de agua que no es

¹ CABALLEROS, Álvaro. Artículo *Guatemala: Los aportes de la agricultura familiar campesina a la economía*. Consulta: marzo 2016.

conveniente, además que el consumo de energía eléctrica es excesivo. Adicionalmente, debe haber una persona que distribuya el agua, cuando sería más productivo realizar otros trabajos relacionados con la siembra.

En algunas áreas de Guatemala, este recurso es mal utilizado o escaso, por lo que el presente trabajo de graduación recomienda la automatización para un mejor control del agua, con el diseño con sensores de humedad de tierra que indiquen el momento en el que sea necesario utilizarla. El sistema está compuesto por un microcontrolador que lleva a cabo los procesos necesarios en su configuración, contribuyendo al ahorro del agua, mejorar su rendimiento, obtener una mayor productividad y por consiguiente, lograr una mejora en la calidad de vida en los agricultores y sus familias.

1. FUNDAMENTOS DE AUTOMATIZACIÓN

Hoy en día varias industrias y empresas cuentan con sistemas automatizados, pues es una forma de reducir el volumen de variables o datos que se utilizan diariamente, garantizando la calidad en la ejecución de la información, así como su disponibilidad para lo cual se aprovechan los recursos materiales y humanos si llegase a ocurrir una falla o error, sin dejar de mencionar la reducción de costos o el ahorro financiero.

La automatización cubre aspectos comerciales e industriales. Sin embargo, su alcance se ha dispersado por áreas como la agricultura, educación, medicina, entre otros. Se automatizan procesos en el diario vivir tales como realizar cálculos matemáticos con tareas en el hogar, clasificación de objetos, por mencionar algunos.

1.1. Definición

Automatización se refiere a la acción y efecto de automatizar cuya definición es convertir movimientos específicos en movimientos automáticos; aplicar la automática a un proceso o dispositivo, es decir, “que un proceso funcione por sí solo ya que producirá a partir de un hecho sin la intervención parcial o total del ser humano.”²

Todo proceso automático o un autómeta el cual está definido como “un sistema artificial que se comporta de determinadas maneras relacionando comandos de entrada con estados del sistema, con el fin de obtener las salidas

² Real Academia Española. <http://dle.rae.es/?id=4TO3M08>. Consulta: mayo de 2016.

necesarias para solucionar tareas”³ (ver figura 1), le son indispensables tres elementos:

- Sensores
- Actuadores
- Unidades de control para la toma de decisiones y ejecución del programa

Figura 1. **Elementos de un proceso automático**



Fuente: elaboración propia.

1.1.1. **Sensor**

Son los encargados de captar y medir valores con los cuales le da seguimiento a un proceso para su control; recibe información de una magnitud física (temperatura, luz, sonido, entre otros) del exterior y la transforma en otra siendo esta capaz de ser cuantificada y manipulada. Las características de un sensor influyen en su comportamiento como en el del sistema donde se emplee, entre las que se pueden mencionar:

- Exactitud
- Fidelidad

³ EBEL, F. *Fundamentos de la técnica de automatización para Festo*. Consulta: mayo de 2016.

- Sensibilidad
- Fidelidad

Los sensores se pueden clasificar según su criterio en:

- El aporte de energía
 - Moduladores
 - Generadores
- Señal de salida
 - Analógicos
 - Digitales
- Modo de funcionamiento
 - Deflexión
 - Comparación
- Relación de entrada-salida

Figura 2. **Clasificación de los sensores**

<i>Criterio</i>	<i>Clases</i>	<i>Ejemplos</i>
Aporte de energía	Moduladores Generadores	Termistor Termopar
Señal de salida	Analógicos Digitales	Potenciómetro Codificador de posición
Modo de operación	De deflexión De comparación	Acelerómetro de deflexión Servoacelerómetro

Fuente: PALLÁS, Ramón. *Sensores y acondicionadores de señal*. p. 7.

Los sensores se clasifican en varias categorías y se puede clasificar en muchas más si se tomara en cuenta las magnitudes que influyen su

medición como pueden ser las magnitudes del ambiente que puede afectar o alterar la medición, obteniendo así una categoría más (ver figura 2). Por cada parámetro que afecte o altere el valor sentido, se tiene una clasificación más.

Debido a lo anterior, la clasificación se facilita al considerar los parámetros que varían en la medición:

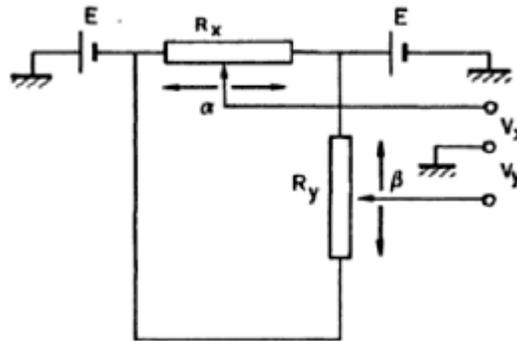
- Sensores resistivos
- Sensores capacitivos
- Sensores inductivos

1.1.1.1. Sensores resistivos

Se basan en la variación de la resistencia eléctrica de un dispositivo electrónico debido a un contacto físico con el sistema donde se va a medir o por efecto de carga convirtiendo esa variación en un cambio de posición o desplazamiento, presión o nivel. Estos sensores son los más comunes y de mayor cantidad en existencia pues la resistencia se ve afectada al variar una magnitud física. Los sensores resistivos más conocidos son:

- Potenciómetros
- Detectores de temperatura (RTD)
- Termistores
- Fotorresistencias (LDR)

Figura 3. **Circuito electrónico de joystick con potenciómetros**



Fuente: PALLÁS, Ramón. *Sensores y acondicionadores de señal*. p. 57.

1.1.1.2. **Sensores capacitivos**

Estos sensores actúan por la variación de capacitancia. Estos trabajan como interruptores electrónicos pues al momento en que un objeto se acerque al condensador que lo integra se genera un campo electrostático entre sus electrodos, aumentando así su capacitancia.

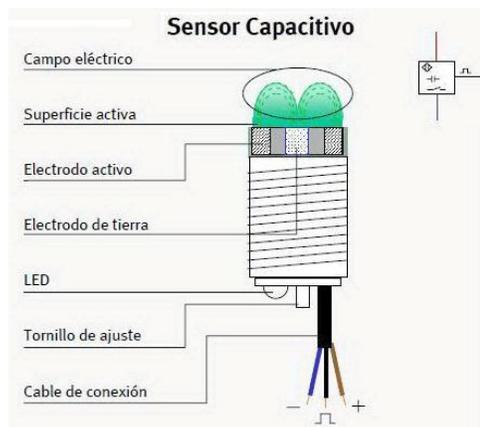
El condensador que integra este sensor, consiste en dos placas paralelas conductoras, sin contacto entre ellas más que el aire que juega el papel de dieléctrico. El dieléctrico también puede ser algún sólido, líquido o gaseoso.

Estos sensores no son lineales, pues su linealidad depende del parámetro que varía, la medición de la impedancia o admitancia y según la separación entre las placas conductoras del capacitor, ya que si varía el área de las placas o la constante dieléctrica, la salida es lineal. Sin embargo, si varía la distancia entre las placas, la salida no es lineal. Una limitación que posee este tipo de

sensores es su alta impedancia de salida, por otro lado tienen una estabilidad elevada.

Entre sus aplicaciones se encuentra el sensor de proximidad para un control de llenado de botellas en cierta producción (ver figura 4).

Figura 4. **Sensor capacitivo**



Fuente: *Sensores de proximidad*. <http://sensoresdeproximidad.blogspot.com/p/capacitivo.html>.

Consulta: mayo 2016.

1.1.1.3. **Sensores inductivos**

Al acercarse un objeto metálico a un campo magnético, se crea una corriente inductiva en sentido contrario al flujo magnético. Este fenómeno ocasiona, en el caso del sensor, que la carga en el sensor aumente y disminuya la amplitud del campo electromagnético.

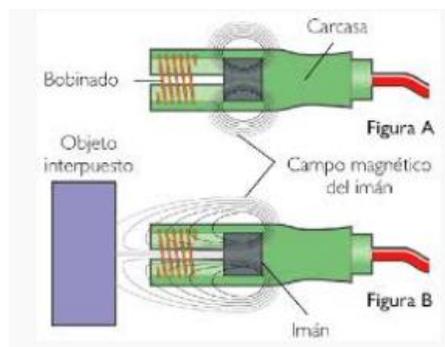
Estos sensores están formados por ferritas y alrededor de ellas bobinas, blindadas o no y enrolladas, las cuales generan el campo magnético por lo que detectan objetos metálicos. Entre sus ventajas se encuentran que son rápidos,

precisos y resistentes, sin embargo, su precisión para detectar objetos depende del tamaño del objeto, pues si es más grande que el estándar detectará a una distancia más grande el metal y si es más pequeño, a una distancia más corta.

El sensor inductivo está formado por una bobina, circuito de disparo, oscilador, una etapa de salida y un rectificador. Cuando detecta un cambio de amplitud del campo, dispara conmutando la salida a una posición contraria a la que estaba.

Se utilizan para detectar la posición de algún objeto metálico, un atasco de engranajes, para motores, transformadores variables, entre otros.

Figura 5. **Sensor inductivo**



Fuente: *Sensor inductivo*. http://www.ecured.cu/Sensor_inductivo. Consulta: mayo 2016.

El sensor está relacionado con el actuador, ya que con base en lo que recolecte, el actuador accionará convirtiendo la energía.

1.1.2. Actuador

Es un dispositivo que acciona por medio de la fuerza lineal si el movimiento es en línea recta tal como un cilindro de simple o doble efecto, o rotatoria si el movimiento es circular como por ejemplo un motor, otro dispositivo según lo que le ordene la unidad de control con el objetivo de modificar la magnitud física a controlar.

La fuerza empleada para accionar puede generarse por una fuerza humana, presión neumática, presión hidráulica, o una fuerza electromotriz. Dependiendo de la fuente de la fuerza, un actuador se puede clasificar como se muestra a continuación:

- Neumáticos
- Hidráulicos
- Eléctricos

Figura 6. **Clasificación de los actuadores**

	Actuador Neumático	Actuador Eléctrico	Actuador Hidráulico
Fuerza Generadora de Movimiento	Presión de aire	Energía eléctrica	Presión hidráulica
Elemento Motriz	Émbolo, Pistón o Veleta	Motor Eléctrico	Émbolo, Pistón o Veleta
Transmisión de Fuerza o Torque	Eje o Cremallera	Reductor	Eje
Conversión mecánica	Yugo o Piñón	- No hay -	Yugo o Piñón

Fuente: *Actuadores*. http://www.dis.uia.mx/taller_industrial/blog/wp-content/uploads/2013/10/ACTUADORES.pdf. Consulta: mayo 2016.

1.1.2.1. Neumáticos

Este dispositivo transforma la energía del aire comprimido en energía mecánica. La fuerza neumática puede ser lineal o rotatoria según el dispositivo que se utilice. Para un actuador neumático lineal se tienen los cilindros de simple y doble efecto, pistones, entre otros. Un actuador neumático rotatorio se puede encontrar en un motor eléctrico.

1.1.2.2. Hidráulicos

Funcionan a base de fluidos, generalmente un tipo de aceite, que genere una presión. Tiene cierto parecido al actuador neumático, sin embargo, la presión hidráulica es mucho mayor. El funcionamiento de este actuador es conectando “la presión hidráulica a uno de los lados del émbolo generando una fuerza en sentido de la expansión del espacio entre el émbolo y la pared del cilindro.”⁴ Es utilizado en movimientos rotatorios, como ejemplo se puede mencionar una veleta rotatoria.

1.1.2.3. Eléctricos

Este actuador requiere energía eléctrica para su funcionamiento. Algunas ventajas de este tipo de actuador es que trabajan con mayor exactitud, precisión y repetitividad. Sin embargo, al momento de realizar conexiones hay que tomar en cuenta la distancia entre dos o más dispositivos, máquinas o equipos, el paso de corriente por ellos, torque, entre otros, pues el cableado puede afectar el funcionamiento. Entre los actuadores eléctricos se pueden mencionar los motores de corriente continua, de corriente alterna, los motores *stepper* o paso a paso y servomotores.

⁴ *Actuadores*. <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>. Consulta: abril de 2016.

1.1.3. Unidades de control

En una unidad de control se realiza una comparación entre el valor de referencia y el valor medido en la salida del sistema, ejerciendo una acción a manera de corregir la diferencia entre ambos valores (error). La unidad de control debe ser capaz de manejar varias señales de entrada y varias señales de salida tanto analógicas o digitales, para ello se pueden utilizar circuitos electrónicos externos, debe ser capaz de controlar varios procesos.

El controlador, como también se le puede llamar, es parte fundamental de un proceso automático pues es a partir de este que el actuador con sus instrucciones accionará un elemento final a fin de obtener la salida deseada.

Entre los tipos de controladores, se pueden mencionar los siguientes:

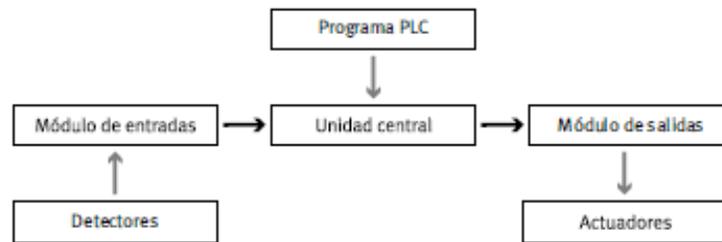
- Controlador Lógico Programable (PLC)
- Microcontroladores

1.1.3.1. Controlador Lógico Programable (PLC)

Los PLC se empezaron a utilizar como sustituto de los controles por contactos por medio de relés con el fin de controlar equipos o procesos. Consiste en un módulo que cuenta con varias entradas y salidas por medio de las cuales se realizan conexiones que se ejecutarán a partir de la programación que se encuentra en su memoria del microprocesador (ver figura 7). Con esto queda claro que el software es el que determina el programa y no la conexión entre varios relés.

Sus características principales son el número máximo de entradas y salidas las cuales se pueden interconectar dependiendo de la función, la capacidad de memoria y la velocidad de proceso.

Figura 7. **Componentes de un PLC**



Fuente: EBEL, F. *Fundamentos de la técnica de automatización de Festo*. p. 7.

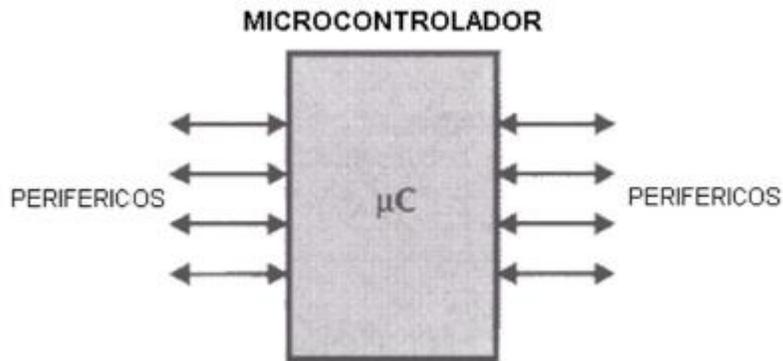
Las ventajas que comparte Festo sobre el PLC son las siguientes:

- Menor cantidad de bloques lógicos en el software
- Cableado sencillo
- Modificación del programa rápido y eficiente
- Localización sencilla de fallos
- Solución más económica que otras alternativas

1.1.3.2. **Microcontrolador**

Es un circuito integrado (chip) de alta escala de integración que incorpora mayor parte de los elementos que integran un controlador; incluye todos los componentes de una computadora y una de sus ventajas es su reducido tamaño que le permite ser montado en la misma estructura u objeto que maneja o controla (ver figura 8).

Figura 8. **Microcontrolador**



Fuente: DE LEÓN, José. *Presentación de Microcontroladores*. p. 8.

Se dice que un microcontrolador es un sistema cerrado, a diferencia del microprocesador que es un sistema abierto, pues todas las partes de este último se encuentran en el interior y solamente se encuentra en el exterior los pines que se refieren a los periféricos que serán conectados a elementos finales. La diferencia principal entre un microcontrolador y un microprocesador es su funcionalidad, ya que el segundo se debe conectar con otros componentes, principalmente con la memoria, y para que funcione con algún periférico debe apoyarse de circuitos especiales.

Un microcontrolador cuenta con los siguientes componentes:

- Unidad central de proceso
- Memoria RAM – memoria de acceso aleatorio –
- Memoria ROM – memoria de solo lectura –
- Pines de entrada y salida para tareas generales
- Reloj

Los requisitos que se deben tomar en cuenta al seleccionar un microcontrolador para cualquier aplicación son:

- Procesamiento de datos
- Entrada/Salida
- Consumo
- Memoria
- Ancho de palabra
- Diseño de la placa
- Arquitectura
 - Von Neumann

En un inicio, la arquitectura que prevalecía en los microcontroladores era de von Neumann la cual se caracteriza por tener una única memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones y a la que se accedía por un único bus (direcciones, datos y control), en pocas palabras, hacía que el microcontrolador fuera lento pues para el intercambio de datos debía esperar a la transmisión y recepción de los mismos.

- Harvard

La arquitectura Harvard tomó el mando haciendo que el intercambio de información sea más veloz, ya que el microcontrolador dispone de dos memorias distintas e independientes: una de datos y otra de instrucciones cada una con sus buses (direcciones, control y datos) los cuales pueden operar simultáneamente. Cuenta con dos buses de datos diferentes: uno de 8 bits que conecta la CPU con la RAM y otro de 12, 14 o 16 bits que conecta la CPU con la ROM.

- Procesador

Este es el elemento más importante del microcontrolador pues se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código, decodificarlo, almacenamiento de resultados, ejecución de instrucciones, entre otros. Con base en su funcionalidad y a la arquitectura, existen tres orientaciones en las que se basan los microcontroladores:

- CISC
- SISC
- RISC

- CISC: son computadores de juego de instrucciones complejo, muchos microcontroladores se basan en esta orientación, pues disponen de más de 80 sofisticadas y potentes instrucciones máquina, lo que en parte es desventaja pues requiere de varios ciclos para ejecutar las instrucciones, pero su ventaja es que ofrece al programador macros que ejecutan instrucciones complejas.
- SISC: computadoras de juego de instrucciones específico, va dirigido a aplicaciones concretas específicas es por ello que sus instrucciones deben ser reducidas justas para la aplicación prevista.
- RISC: computadoras de juego de instrucciones reducido, esta filosofía se está apoderando de la mayoría de las computadoras y microcontroladores, pues las instrucciones

que se utilizan son reducidas y simples ejecutables en un ciclo, accesibles al programador por su sencillez y rapidez optimizando tanto el hardware como el software. Claros ejemplos de microcontroladores que se basan en esta filosofía son:

✓ PIC

✓ Arduino

- PIC: su nombre es Controlador de Interfaz Periférico. El primer PIC fue creado en 1975 por General Instruments y utiliza la arquitectura Harvard. Existen tres familias:
- Gama baja: es de 8 bits, consta de 33 instrucciones de 12 bits de longitud y su memoria reducida. Por ejemplo: PIC16F54.
- Gama media: es de 8 bits, consta de 35 instrucciones de 14 bits de longitud. Tiene una pila con 8 niveles de profundidad y con vector de interrupción, además están encapsulados en 8 pines. Por ejemplo: PIC16C84.
- Gama alta: es de 8 bits con un número total de instrucciones de 76. Está diseñado para aplicaciones de control, tiene una capacidad alta de memoria y

recursos avanzados. Por ejemplo:
PIC18FXXX.

- ❖ Arduino (ATMega328): el microcontrolador ATMega328 es el cerebro del conocido Arduino Nano y Arduino UNO. Tiene la ventaja de ejecutar varias instrucciones en un solo ciclo de reloj y equilibra el consumo de potencia con la velocidad de procesamiento (ver figura 9).

Figura 9. **Características de ATMEGA328**

PARÁMETROS	VALORES
Flash	32 Kbytes
SRAM	2 Kbytes
Cantidad Pines	28
Frecuencia máxima de operación	20 MHz
CPU	8-bit AVR
Número de Canales variables	16
Pines máximos de E/S	26
Interrupciones internas	24

Fuente: *Atmega328*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Atmega328>. Consulta: mayo 2016.

Arduino es una plataforma de lenguaje abierto que está basado en la accesibilidad y facilidad de uso para que cualquier persona que tenga un nulo o mucho conocimiento de programación y que pueda ejecutar aplicaciones.

Arduino cuenta con tableros en los cuales se puede montar este chip y los tableros son capaces de leer entradas y convertirlas en salidas enviando instrucciones al microcontrolador. El lenguaje de programación para el Arduino está basado en *wiring* (cableado o alambrado) el cual es un marco de programación de código abierto para microcontroladores que permite la interacción entre varios de ellos para manejar o controlar dispositivos, y el software está basado en *processing* (procesamiento o tratamiento) que trata de un software libre con un lenguaje flexible para aprender cómo programar a través de la visualización.

A medida que el Arduino fue abarcando y llegando a más comunidades, se fue adaptando a nuevas necesidades y retos de los programadores o novatos. Esto lo ha logrado debido a que simplifica el proceso de trabajar con microcontroladores, ya no es tedioso. Además, el precio es accesible, se ejecuta en los sistemas operativos de Windows, Macintosh OSX y Linux, su interfaz de programación es amigable y accesible, y es de código abierto.

La automatización puede tener varias relaciones de acuerdo a las personas con robots o autómatas en donde el ser humano no trabaja, es decir, autoregula sistemas para problemas de la mecánica en la industria o que tiene que ver con la producción electrónica y automática. Se refiere al diseño, manufactura o fabricación y al uso de equipos automáticos para procesos industriales o de otro tipo.

La automatización hace referencia a la ejecución o acción automática, también dirán que muchas máquinas trabajan o se accionan automáticamente.

La diferencia principal entre mecanización y automatización es que la primera asiste al operador humano para realizar las tareas que él no puede

como esfuerzos físicos que al humano se le dificulta, mientras que el segundo término reemplaza o sustituye las funciones mentales y sensoriales del operador humano.

La mecanización asiste y la automatización reemplaza o sustituye, esa es la diferencia. Como ejemplos de la mecanización se pueden mencionar las carretillas y grúas que ayudan al ser humano a levantar y transportar materiales pesados, esta acción podría lastimar la espalda y extremidades pues no cuenta con la misma resistencia que los mecanismos con los que cuentan en el caso de la grúa. Entonces, todo proceso mecanizado se refiere a los procesos que son realizados por o con la ayuda de máquinas.

Una automatización pudiera considerarse como una extensión de la mecanización si se redujera el esfuerzo humano, la producción fuera más veloz, precisa y constante, e integrara la operación de máquinas individuales para grandes unidades, pero se hablaría de un desarrollo industrial. Sin embargo, esta es una revolución en la tecnología pues se considera indispensable en cualquier área donde se le utilice ya que antes era opcional. Es la aplicación de la teoría del control automático en innovaciones tecnológicas para hacer posible que un proceso o una producción sean automáticos. Como se mencionaba, este término envuelve el hecho de que la producción automática con operaciones y secuencias fijas, como por ejemplo una línea de producción, implemente, más bien reemplace las funciones sensoriales y mentales del hombre en un sistema de producción. Tal hecho puede verse reflejado en la máquina de vapor cuando sustituyó a la fuerza humana y animal para extraer el agua de las minas en la época de 1769.

La automatización es de gran ayuda para cualquier proceso en un área donde se quiera aplicar. Sin embargo, lo que se recomienda es no automatizar

un proceso en su totalidad ni de la noche a la mañana si no que realizarlo poco a poco, evaluando con profundidad cada aspecto: desde el proceso con mayor prioridad hasta el de menor importancia o menos necesario.

Como la automatización adquiere mejoras a medida que la tecnología avanza velozmente, cada día se van a requerir más necesidades de las que se tenían en un inicio por lo que lo mejor es automatizar un funcionamiento o proceso básico el cual el operador humano sepa manejarlo y a medida que pase el tiempo conozca las necesidades que requiere el proceso para alcanzar los objetivos deseados.

1.2. Tipos de automatización

Existen tres tipos de automatización en los que se clasifica un sistema según su volumen de producción y los equipos que lo conforman son:

- Fija
- Programable
- Flexible

1.2.1. Automatización fija

Se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, por lo tanto el equipo que maneja la automatización debe ser de alto costo debido a la tasa de producción, así como la velocidad en que la realiza. Aunque es muy eficaz para un gran volumen, el inconveniente es el ciclo de vida, pues el equipo debe adaptarse al producto de demanda.

1.2.1.1. Características

- Gran inversión inicial
- Los equipos son inflexibles al momento de realizar un cambio en la producción, no se adapta
- Es para gran volumen de producción

1.2.1.2. Ejemplos

- Líneas de mecanizado
- Máquinas de ensamblaje automático

1.2.2. Automatización programable

Se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo. Tal como lo indica su nombre, este tipo de automatización trabaja a partir de la programación que se realice en un software haciéndola más flexible para su empleo y por lo tanto adaptable a cambios de operaciones a diferencia de la automatización fija. Para su funcionamiento, la programación se debe realizar al finalizar cada lote para aplicar los cambios tanto en software como herramientas o módulos que requieran modificaciones.

1.2.2.1. Características

- Al igual que la automatización fija, se requiere de una alta inversión en los equipos
- Su volumen de producción es bajo
- Flexible, fácil de adaptarse a productos diferentes
- Ideal para producciones por lotes

1.2.2.2. Ejemplos

- PLC
- Relés programables
- CNC
- Robots

1.2.3. Automatización flexible

Es una versión mejorada, ya que la automatización programable se refiere a los sistemas de fabricación en los que se puede cambiar el programa, ya que están interconectados entre sí, controlados por una computadora y las piezas modulares que lo constituyen. Este tipo de automatización no es para producciones por lotes.

1.2.3.1. Características

- Posee características de ambos de tipos
- Para tasas medias de producción
- Flexible al momento de cambiar el diseño de equipos de un sistema
- Producción continua

1.2.3.2. Ejemplos

- Industria automotriz
- Robots industriales

1.3. Clases de automatización

Según el componente o dispositivo principal que utilice un sistema para realizar un proceso, la automatización se clasifica en cuatro clases:

- Neumática
- Hidráulica
- Mecánica
- Electrónica

1.3.1. Neumática

Este proceso de automatización se basa en máquinas que producen o aplican el aire comprimido para trabajar, el aire es su materia prima.

Entre los elementos que lo conforman para procesos industriales son los compresores, acumuladores, acondicionadores de aire, válvulas, entre otros. Esta técnica se utiliza para movimientos lineales, trabajos de fijación de piezas, bloqueo; donde la automatización industrial requiera elementos de mando, las instalaciones son neumáticas.

Entre las ventajas de esta clase de automatización es la sencillez de los sistemas de mando y la respuesta del movimiento. Entre las desventajas está la inversión económica de los equipos, como por ejemplo Festo, para la instalación y el mantenimiento del aire, el cual no debe de tener impurezas para el adecuado funcionamiento de los mismos.

1.3.2. Hidráulica

Tiene similitudes con la automatización neumática, la diferencia radica en que la hidráulica tiene una velocidad de respuesta lenta, pero desarrolla más trabajo para el cual utiliza más potencia.

Requiere de distintos tipos de fluidos para trabajar tales como mezclas de aceites minerales, agua-aceites y aceites sintéticos, los cuales generan potencia y funcionan como lubricantes simultáneamente. Su funcionamiento es aplicar una determinada fuerza sobre una determinada área produciendo un efecto mayor de potencia en el área del lado opuesto.

Algunos ejemplos de esta clase de automatización son las grúas, equipos de minería, automóviles (frenos, suspensión, dirección, entre otros).

1.3.3. Mecánica

El uso de máquinas automáticas sustituye la fuerza humana. Funciona transformando la energía eléctrica en energía mecánica para un trabajo repetitivo o en los que se busca, por el peligro, resguardar la vida del ser humano. Es económica, pero poco flexible, ya que el personal capacitado para su uso es escaso.

Los problemas que presenta esta técnica son la longitud y sincronización. Está conformado por poleas, ruedas dentadas, tornos, fresadoras, palancas, entre otros.

1.3.4. Electrónica

Este campo de la ingeniería, revolucionó la automatización debido a los autómatas programables y por su sistema digital, como por ejemplo el controlador secuencial, pues se puede descomponer un proceso en estados, los cuales al ser sensado van a ejecutar una acción.

Su funcionamiento depende del flujo de las cargas eléctricas negativas conocidas como electrones en un circuito cerrado para la generación, transmisión, recepción de información como música y video, imágenes, datos, voz, GPS, por mencionar algunos. Lo esencial de la electrónica es que nos ofrece circuitos con los que se procesa la información: moduladores, demoduladores, generador de ondas, entre otros.

La electrónica es un área fundamental para la automatización.

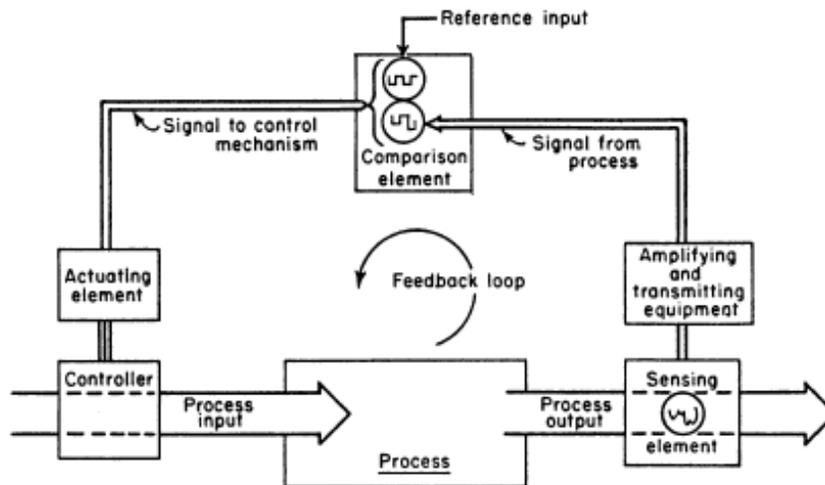
1.4. Sistema de control automático

Un sistema de control traza estrategias para alcanzar ciertos objetivos. Controla la salida mediante las entradas en paralelo con los elementos del proceso de un sistema de control. Parte del diario vivir, se rige por un sistema de control desde el ámbito doméstico hasta la transportación.

“El objetivo primero de los sistemas de control y de regulación automática es, a partir del estudio de un proceso, determinar la arquitectura y los valores de los parámetros de un regulador de forma que, ante un cambio deseado o imprevisto de su funcionamiento, sea capaz de adaptarse automáticamente de la forma más adecuada posible. La velocidad y dinámica con las que el proceso se ajuste a estas nuevas condiciones estarán determinadas por la elección de parámetros y de sistema para el controlador.”⁵ (Ver figura 10)

⁵ ROGERS, Jack. *Automation Technology's New Face*. p. 10.

Figura 10. Diagrama de un sistema de control automático



Fuente: ROGERS, Jack. *Automation Technology's New Face*. p. 11.

Todo sistema de control conlleva un proceso. Cuando se menciona un proceso se hace referencia a una transformación tomando en cuenta al factor ambiente a partir de una entrada de energía, información u otra señal obteniendo un determinado producto. Con base en esto, un sistema de control se puede clasificar dependiendo de la involucración del hombre si se tiene que accionar algo, controlar ciertos ciclos de un proceso cargando o descargando, o desactivando un proceso cuando el ciclo se ha completado en:

- Sistema de control manual
- Sistema de control semiautomático
- Sistema de control automático

1.4.1. Sistema de control manual

Es el más sencillo pues requiere de la intervención del operador humano al manipular un interruptor o botón para el arranque o parada de un equipo, así como para cambiar la condición del funcionamiento del mismo, es decir, no se recurren a las máquinas, sino que utilizan herramientas. Usualmente, este tipo de control se realiza en el mismo lugar donde se coloca la máquina.

1.4.2. Sistema de control semiautomático

Se utiliza donde el control manual no es posible debido a las instalaciones. Es una combinación del control manual, ya que se utilizan interruptores o botones los cuales son accionados manualmente y control automático como un arrancador electromagnético el cual se activa automáticamente al accionar un botón. “La máquina realiza varias operaciones en secuencia y de forma autónoma, pero necesita de la intervención humana para poner y retirar las piezas.”⁶

1.4.3. Sistema de control automático

Cuando el operador está ausente y no se requiere de su intervención, es decir, un controlador ejerce su función al ser el proceso repetitivo, difícil, peligroso y tedioso por medio de dispositivos eléctricos, mecánicos, electromecánicos, entre otros, como por ejemplo un contactor, que lo hace autónomo. Si un sistema contiene uno o más dispositivos automáticos, entonces se le considera automático.

⁶ *Tecnologías Usadas para la Automatización de Sistemas de Producción.* <http://myslide.es/documents/modulo-1-tecnologias-usadas-para-la-automatizacion-de-sistemas-de-produccion.html>. Consulta: mayo de 2016.

Un control sobre un sistema automatizado se puede dividir en dos según el tipo de operación que al interactuar entre sus elementos obtenga un resultado deseado como sigue:

- Sistema de control de lazo abierto
- Sistema de control de lazo cerrado

1.4.4. Sistema de control de lazo abierto

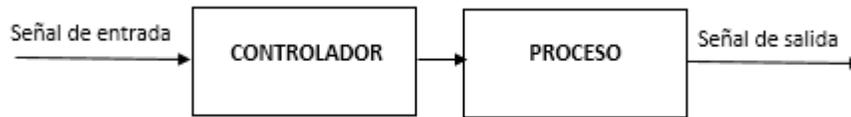
También llamado como sistema de control no realimentado. Este tipo de sistema se puede dividir en dos partes fundamentales:

- Controlador: puede ser un amplificador, filtro o cualquier dispositivo que controle un proceso, por ende, lo altera para obtener la respuesta deseada.
- Proceso controlado: ejecuta de acuerdo a lo obtenido por el controlador para dar un resultado deseado.

En el controlador se tendrá una señal de entrada que junto a este obtendrán una señal actuante o una señal de control, la cual controla el proceso con un resultado de una variable controlada que desempeñará de acuerdo a estándares o señal de referencia preestablecidos por un operador (ver figura 11).

Este tipo de sistema es más económico pero inexacto y por ende inestable ya que no afecta a la señal entrante provocando ruido y perturbaciones, por lo que se aplica en sistemas simples.

Figura 11. **Sistema de control de lazo abierto**



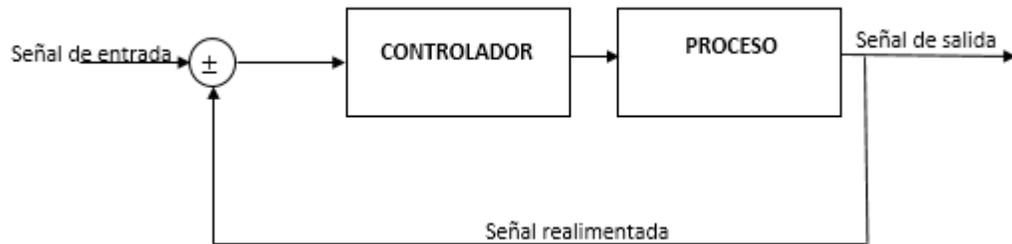
Fuente: elaboración propia.

1.4.5. Sistema de control de lazo cerrado

Conocido como sistema de control realimentado. A diferencia del sistema de control de lazo abierto, este es más exacto. ¿Cómo lo logra? utilizando la realimentación: la salida o variable controlada es realimentada y comparada con la señal de entrada provocando una diferencia de señales, que a su vez tratará de acercarse al objetivo o señal de referencia controlando el sistema (ver figura 12). Prácticamente, el proceso de control dependerá de la salida que regulará la amplitud de la señal de entrada.

Se puede considerar que entre el controlador y el proceso se encuentra un actuador el cual ejecuta sobre el proceso lo indicado por el controlador, sin embargo, se hace la suposición que el actuador es parte del proceso pues puede generar confusiones al momento de realizar un análisis metódico del sistema en el cual hay que tratarlos por separado.

Figura 12. **Sistema de control de lazo cerrado simple**



Fuente: elaboración propia.

Para que un sistema de control automático sea satisfactorio se necesita que:

- El proceso sea controlado debido a sus cambios por un dispositivo como un interruptor o válvula.
- La variable a controlar sea medible.
- La medición y su resultado deben ser tomados con precisión para mantener la variable dentro del estado deseado (comparación con la señal de referencia). Esto se logra con un control eficaz evitando así que el sistema oscile perdiendo de vista el objetivo.

Con estos tres pasos, un sistema de control automático “observa, comunica internamente, decide y actúa. Al mencionar la palabra automático, se observa que la automatización, entonces, juega un papel importante en un sistema de control por lo que su definición se puede ampliar como aquello que se refiere al diseño, fabricación y al uso de equipos automáticos, así como los

sistemas de autorregulación para los procesos industriales u otros mecanizados.”⁷

1.4.6. Realimentación en un sistema de control automático

Para que un control sea automático o automatizado, el manejo de la información es clave para la operación del sistema, es decir, debe ser realimentado. Por lo que se puede decir que los dos conceptos importantes que maneja la realimentación son la automatización y el control del sistema.

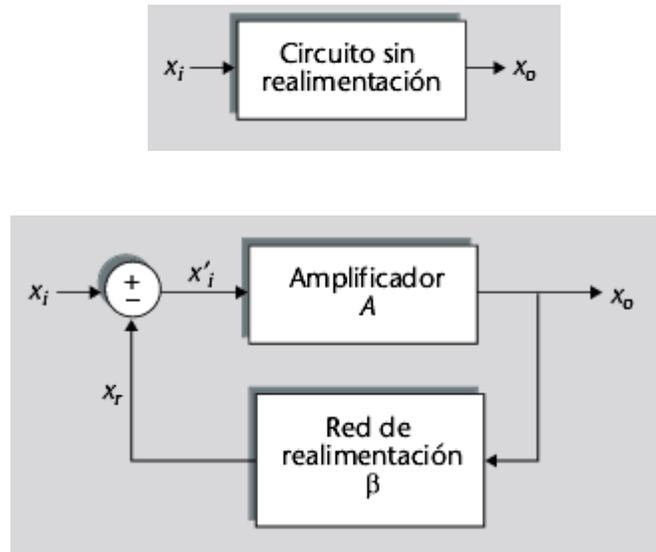
Se puede decir que una máquina, por ejemplo, una computadora, debe manejar información que una segunda máquina trabaje con base en la primera, la cual opera con un control de lazo cerrado e integra pequeños sistemas dentro de ella.

La función principal de la realimentación para tener control sobre un sistema es reducir el error entre la señal entrante y la señal de salida del sistema buscando una relación de causa y efecto entre esas variables. Esto lo consigue manteniendo informado al controlador central (por ejemplo, un microcontrolador) para que este corrija conforme sean necesario las variables del estado.

Un sistema, en este caso electrónico, está formado por una entrada, un proceso y una salida como se puede ver en la figura 1. Como se ha descrito, ese sistema sería un sistema de control de lazo abierto pues no se genera una diferencia de señales o una realimentación que en términos simples, se dice, que es cuando se toma la señal de salida y se reinserta en la señal de entrada del sistema (ver figura 13).

⁷ ROGERS, Jack. *Automation Technology's New Face*. p. 13.

Figura 13. **Sistema de control sin realimentación y con realimentación**



Fuente: ESCUDERO, Ana. *Realimentación y osciladores*. p. 10.

Los sistemas con realimentación están formados por tres etapas como se puede observar en la figura y son:

- Amplificadora
- Red de realimentación
- Bloque comparador

1.4.6.1. **Amplificadora**

En la etapa amplificadora se toma la magnitud de la señal de entrada y se amplifica o aumenta de acuerdo al valor que tenga la ganancia la cual se define por la letra A . La ganancia se define como la relación entre las magnitudes de la señal de salida y la señal de entrada siendo adimensional, como se muestra a continuación:

$$G = \frac{\text{señal de salida}}{\text{señal de entrada}}$$

1.4.6.2. Red de realimentación

Proporciona la señal realimentada después de utilizar la señal de salida y multiplicarla por un factor β . Esta etapa corrige la señal de entrada para que la señal de salida sea la deseada.

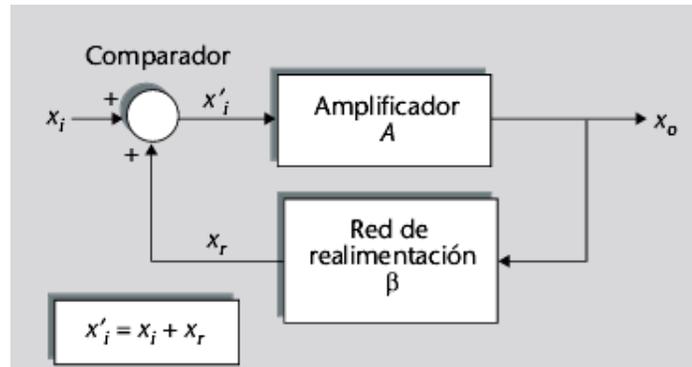
1.4.6.3. Comparador

La etapa del comparador, suma o resta las señales de entrada y realimentada según sea el caso. La comparación entre las señales de entrada y realimentación generan una diferencia permite que existan dos tipos de realimentación:

- Positiva
- Negativa

- Realimentación positiva: es cuando ambas variables de las señales comparadas son de igual signo. Consiste en sumar la señal realimentada con la señal entrante a la etapa amplificadora. Estas señales, así como la señal de salida tienden a crecer indefinidamente o a saturar el sistema. Un ejemplo de esta realimentación es cuando se alguien se coloca frente a una bocina a hablar a través de un micrófono, al realizar esto, un ruido molesto a los oídos se produce (ver figura 14).

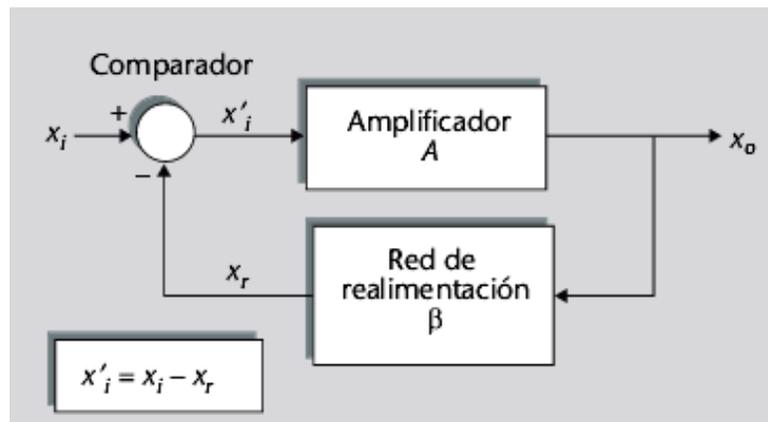
Figura 14. **Realimentación positiva**



Fuente: ESCUDERO, Ana. *Realimentación y osciladores*. p. 12.

- Realimentación negativa: es cuando ambas variables de las señales comparadas son de signo contrario. Utilizado para los sistemas, pues modifica las características de ellos. Esta, a diferencia de la positiva resta la señal realimentada a la señal de entrada (ver figura 15).

Figura 15. **Realimentación negativa**



Fuente: ESCUDERO, Ana. *Realimentación y osciladores*. p. 13.

1.4.6.4. ¿Cómo funciona la realimentación?

Partiendo de las figuras mostradas, se puede determinar que la señal de salida de un sistema con realimentación es:

$$X_o = AX'_i$$

Donde:

X_o : es la señal de salida y producto de la ganancia de la etapa amplificadora y la diferencia de señales de entrada y realimentación.

X'_i : señal de entrada a la etapa amplificadora.

A : ganancia de la etapa amplificadora.

Recordemos que la señal de entrada al amplificador es el resultado de la suma o resta (según sea la realimentación) de la señal realimentada y la señal de entrada al sistema siendo representada como:

$$X'_i = X_i \pm X_r \quad [1]$$

También se puede deducir que la señal realimentada puede ser:

$$X_r = \beta X_o \quad [2]$$

Donde:

β : es la ganancia de la etapa de realimentación.

Entonces la señal de salida del sistema es como se describe a continuación:

$$X_o = A(X_i \pm X_r) \quad [3]$$

$$X_o = AX_i \pm AX_r \quad [4]$$

$$X_o = AX_i \pm A\beta X_o \quad [5]$$

$$AX_i = X_o \pm A\beta X_o \quad [6]$$

$$AX_i = X_o(1 \pm A\beta) \quad [7]$$

$$X_o = \frac{A}{(1 \pm A\beta)} X_i \quad [8]$$

Como se mencionó anteriormente, la ganancia G, se expresa como:

$$G = \frac{\text{señal de salida}}{\text{señal de entrada}} \quad [9]$$

Por lo que la expresión 8 queda como:

$$\frac{X_o}{X_i} = \frac{A}{(1 \pm A\beta)} \quad [10]$$

Entonces la ganancia de realimentación o ganancia de lazo cerrado se representa:

$$A_r = \frac{A}{(1 \pm A\beta)} \quad [11]$$

Si nos referimos a la realimentación positiva, sumamos las señales, la expresión queda:

$$A_r = \frac{A}{(1 - A\beta)} \quad [12]$$

Si nos referimos a la realimentación negativa, restamos las señales, la expresión queda:

$$A_r = \frac{A}{(1 + A\beta)} \quad [13]$$

Nota:

Al término $A\beta$ se le llama ganancia de lazo.

Suponiendo que las ganancias A y β de las etapas de amplificación y realimentación, respectivamente, sean números reales y constantes por sus signos se puede determinar el tipo de realimentación del sistema.

Sin embargo, cuenta con otros efectos en el funcionamiento de los sistemas de control tales como:

- Realimentación como efecto en la estabilidad
- Realimentación como efecto en la ganancia
- Realimentación como efecto en la sensibilidad
- Realimentación como efecto en el ruido o perturbación

1.4.6.5. La realimentación como efecto en la estabilidad

Se refiere cuando un sistema está en control, es decir, si un sistema es capaz de seguir el comando de entrada, si el sistema es útil. Cabe mencionar que un sistema estable puede convertirse a inestable si sus salidas salen de control.

1.4.6.6. La realimentación como efecto en la ganancia

En un sistema se puede incrementar en un intervalo de frecuencia, pero reducirla en otro. La ganancia se refiere a una relación entre la amplitud de la salida con la amplitud de la entrada la cual puede ser positiva o negativa (atenuación).

1.4.6.7. La realimentación como efecto en la sensibilidad

En un sistema de control debe variar según los comandos de entrada y debe ser insensible a la variación de los parámetros para ser un buen sistema. La sensibilidad es un parámetro importante para el diseño de un sistema ya que abarca propiedades de los elementos físicos que pueden cambiar debido al ambiente, temperatura, tiempo de vida, entre otros.

1.4.6.8. La realimentación como efecto en el ruido

Todo elemento físico se ve afectado por ruido debido a las perturbaciones externas que lo rodean, por ejemplo el viento, que puede crear señales

adicionales a una original e inyectarle ruido. La realimentación puede reducir el ruido en un sistema de control y las perturbaciones generadas a este. Todo ruido o perturbación externa que esté en la entrada del sistema se puede ver compensada y anulada por la realimentación negativa. El contra es que en la medida que se trata de anularlo o eliminarlo, la ganancia se reduce, por lo que los valores de las ganancias A y β deben ser elegidos cuidadosamente para tener en un sistema una ganancia aceptable con un leve ruido, el menor posible.

1.4.6.9. Modos de control de un sistema de control automático

El mecanismo de control por realimentación llamado PID calcula el error entre un valor medido y el valor de referencia con el fin de aplicar una acción que corrija ese error eliminando la diferencia o acercándolo al valor deseado (ver figura 16). Los tres mecanismos que existen para corregir ese error son:

- Proporcional
- Derivativo
- Integral

- Proporcional: este valor determina la reacción del error, es decir, es directamente proporcional a la señal de error: si esta es grande, el valor de la variable regulada es grande y viceversa.

Su función consiste en amplificar la señal de error antes que se introduzca en el proceso. Se representa por la constante proporcional K_p que determina la amplificación del elemento de control.

Contiene componentes como sumadores, amplificadores, atenuadores, diferenciadores e integradores.

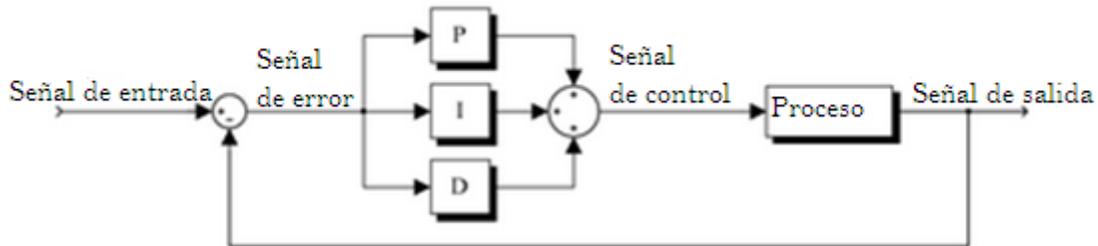
- Derivativo: determina la reacción del tiempo en el que el error se produce ajustando al proceso un elemento de control. Este tipo de control solamente tendrá efecto en los casos en los que la señal de error varíe en el tiempo de forma continua pues, recordando, la derivada de una constante es cero por lo que no tendría ningún efecto.

Se representa con la letra K_d . Este sistema responde a la razón o tasa de cambio en el proceso, pues provoca al controlador a responder rápido por lo que se utiliza en sistemas que deben actuar rápidamente debido a la variación continua del tiempo.

- Integral: se representa por la letra K_i . El control integral varía la salida del controlador en respuesta a la duración de la señal de error aplicando un esfuerzo de control suficiente, reduciendo el error de seguimiento a cero. La razón de cambio a la que actúa el control integral puede ser controlada.

La ausencia de este modo de control en un sistema puede evitar que se alcance el valor deseado.

Figura 16. **Control PID**



Fuente: ANGULO, Cecilio. *Tecnología de sistemas de control*. p. 42.

Entre esos modos de control se pueden combinar como PD o PI, con la ausencia de uno de ellos, se debe compensar ajustando los otros disponibles para obtener una respuesta rápida.

La automatización se enfoca más en lo que las máquinas ejecutan; mejora con los cambios tecnológicos haciendo que la producción sea mayor o que reduzca los costos. Sin embargo, al implementarlo en una empresa, puede afectar el empleo de las personas, ya que, en algunas ocasiones, son reemplazadas por máquinas.

El control automático se utiliza debido a la reducción de costos y servicios, incrementando la calidad y cantidad de producción, así como la mejora en la seguridad y la eliminación de los errores al producir o ejecutar.

1.5. **Aplicación de la automatización**

En la actualidad, existen varias aplicaciones de la automatización en diferentes áreas como las que se describen a continuación:

- Invernaderos
- Industria química
- Aviación
- Industria automotriz
- Hogar
- Riego

1.5.1. Invernaderos

Este tipo de automatización permite suministrar los datos necesarios para tomar las decisiones de riego con eficacia y precisión en tiempo real.

Estos sistemas de control están integrados por sensores, tensiómetros y una estación meteorológica los cuales recolectan, consolidan y transmiten en tiempo real la información obtenida.

Su beneficio es para los agricultores y agrónomos al basar sus decisiones en datos exactos en tiempo real además de tener una producción elevada, constante y con calidad.

1.5.2. Industria química

Esta industria por ser minuciosa, delicada y cuidadosa en sus productos, los requisitos y características que debe tener cada uno de ellos demanda equipamiento, cuyo control de procesos cumpla con los parámetros necesarios, con la seguridad y calidad, así como la rapidez en la producción.

1.5.3. Aviación

Este proceso es considerado como semiautomático, pues se requiere una interacción parcial de un operador humano.

“La función del piloto ha cambiado hasta convertirse en un monitor o supervisor de la automatización a medida que esta es más sofisticada y que los sistemas son más integrados.”⁸

Los pilotos intervienen para detener un proceso o que continúe según los cálculos realizados por el proceso y su evaluación. Esto es algo distinto a lo que los pilotos han estado acostumbrados en un vuelo tradicional por lo que se requiere su capacitación para manejar la automatización de manera que puedan interpretar su funcionamiento, así como datos, cálculos o información importante que resulte en el proceso en tiempo real.

1.5.4. Industria automotriz

Actualmente, esta industria debe reducir costos y producir una mayor cantidad, pero siempre manteniendo o mejorando la calidad del producto; garantizar la seguridad y sustentabilidad aumentando la automatización en sus procesos obteniendo una mayor ganancia a la inversión realizada para la automatización.

⁸ *Control y Automatización.* <https://canaleslicla.files.wordpress.com/2013/10/capitulo2.pdf>. Consulta: mayo de 2016.

1.5.5. Hogar

También se le conoce como domótica y se refiere a un conjunto de sistemas que automatizan procesos en una vivienda como el riego del jardín, abrir y cerrar un portón en el garaje, encender o apagar la luz, entre otros, los cuales están integrados por medio de redes de comunicación controlados desde el interior o exterior de la casa.

1.5.6. Riego

Tiene complicaciones debido a la infraestructura del sistema de riego con el que cuenta la parcela o sitio donde se utiliza. Sin embargo, son escasos los sistemas de automatización que además de realizar la apertura o cierre de agua, también controle y regule el volumen distribuido vía remoto por una central de control. Se debe recordar que el agua es un recurso vital que puede llegar a ser escaso por su mal uso, por lo que la automatización ayuda a que la distribución del agua sea eficaz, productiva, esté disponible en el momento adecuado.

Esta automatización es aplicable en tres niveles:

- Automatización individual de riego en parcela: consiste en determinar el momento adecuado para realizar la automatización al regar, utilizando la cantidad necesaria de agua para lo que se requiere de sensores que midan la temperatura, humedad, volumen, entre otras magnitudes, un controlador que puede ser PIC, Arduino o PLC, y válvulas hidráulicas o electroválvulas.

- Automatización general de una red de riego: se dedica a controlar, verificar y ejecutar desde un centro o unidad de control y lograr una gestión colectiva.
- Regulación y control de instalaciones hidráulicas concretas: se adapta a la demanda del agua para determinar la infraestructura a utilizar y la presión del agua.

1.6. Ventajas y desventajas

La automatización puede mejorar lo que las personas realizan, sin embargo, implica gastos adicionales al impactar en la producción.

1.6.1. Ventajas

Una de las principales razones para utilizar la automatización es la necesidad de ser competitivos produciendo y ahorrando financieramente al mismo tiempo, tal como se muestra a continuación:

- La salud de las personas como operadores son menos propensos a realizar tareas que requieren de mucha fuerza, peligrosos por el tipo de material que se maneja, químicos en el ambiente no tolerables a la piel humana, entre otras cosas que, en comparación, una máquina lo soporta.
- El ser humano tiende a cometer errores en las actividades o tareas que realiza por lo que es más confiable que una máquina las realice rápidamente, con mayor precisión y tiempo, obteniendo así un mejor resultado con garantía y una buena calidad.

- La operación en las empresas, industrias, agricultura, por mencionar algunos, cuenta con horarios los cuales se tienen que cumplir para la producción. Sin embargo, al automatizar un proceso o una producción, se puede trabajar las 24 horas obteniendo más resultados y solamente habría una pausa o interrupción al momento de realizar un mantenimiento conocido como una ventana.
- Como sucedió con la máquina de vapor al sustituir la fuerza del ser humano y animal, se requieren de menos operadores.
- Las máquinas son más controlables: “el mayor número de máquinas, menor cantidad de personas y por ende mayor facilidad en el control del problema”.⁹
- El costo por mano de obra se reduce.
- Disminución en el consumo de energía eléctrica.
- Genera mayor competitividad.

1.6.2. Desventajas

La automatización puede presentarse como una amenaza hacia una empresa pequeña, mediana o grande, al no aplicarla debidamente, tal como se muestra a continuación

- Una de las principales desventajas en la automatización es el desempleo pues se eliminan puestos de trabajo que prácticamente se suplen con una máquina.
- La complejidad, ya que solamente la persona que diseña o conoce la automatización de cierto proceso puede involucrarse en caso de que cualquier falla ocurriera.

⁹ ROGERS, Jack. *Automation Technology's New Face*. p. 59.

- Los costos que conlleva la automatización en cualquier área, ya que esta tiene que ser confiable, viable, segura, escalable, entre otras características importantes para realizar las tareas a largo plazo.
- La adaptación entre el personal de trabajo con la automatización.
- En un sistema de control automático, los cambios internos que puede sufrir un controlador por el factor ambiente y temperatura u otros propensos del sistema como el envejecimiento, desgaste, tiempo de vida, entre otros.

2. DISEÑO DE HARDWARE DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

Siendo la producción agrícola una de las principales actividades económicas del país y considerando que, aunque en Guatemala haya abundancia del recurso agua, su uso inadecuado puede causar en un futuro la escasez del mismo y tomando en cuenta que en países como Guatemala este es esencial para la producción, la baja o nula disponibilidad de agua, provocaría una baja en la misma por lo que deben buscarse los mecanismos para un mejor aprovechamiento y conservación.

Los conceptos que serán necesarios para el entendimiento y comprensión acerca de los sensores de humedad de tierra y electroválvulas que son los dispositivos que integran el hardware, para que el diseño de este sistema sea automatizado y que son alimentados por un recurso natural son los siguientes:

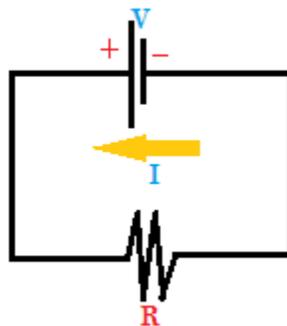
- Fuente de alimentación
- Microcontrolador: Arduino
- Sensor de humedad de tierra

2.1. Fuente de alimentación para el sistema

Para que todo equipo funcione correctamente debe ser suministrado por una fuente de alimentación, específicamente por una corriente eléctrica la cual se genera a partir del movimiento de electrones, flujo de electrones, desde una placa con portadores negativos hacia la otra placa con portadores positivos por medio de un conductor como lo es el cobre, además de una unidad

consumidora o carga, por ejemplo una resistencia. Esto se conoce como un circuito eléctrico simple (ver figura 17).

Figura 17. **Circuito eléctrico simple**

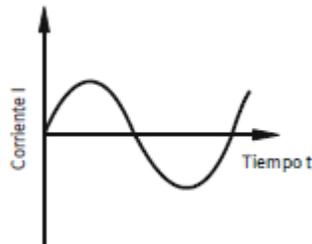


Fuente: elaboración propia.

La corriente eléctrica se puede presentar en dos formas: corriente alterna –AC- y corriente continua –CC- o directa –DC-.

La corriente alterna se refiere a la corriente que es variable en el tiempo, es decir, el sentido de circulación cambia; es fácil de generar y de transformar. Se utiliza para uso doméstico e industrial. La corriente alterna que se utiliza en la mayoría de hogares e industrias en Guatemala es $110/220V_{AC}$ a una frecuencia de 60 Hz. En la figura 18 se puede observar la representación de la corriente alterna en el tiempo.

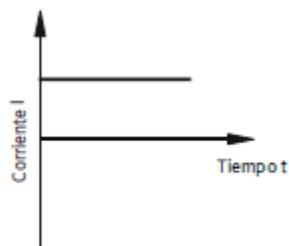
Figura 18. **Representación de la corriente alterna**



Fuente: EBEL, F. *Fundamentos de la técnica de automatización de Festo*. p. 19.

Por el contrario, la intensidad de la corriente directa o continua no varía en el tiempo manteniendo constante la tensión independientemente de la corriente, es decir, su sentido de circulación se mantiene constante. Como ejemplo de la corriente continua es en las baterías que conocemos como doble o triple A que utilizamos para alimentar el control remoto para la televisión. La representación gráfica de la corriente continua en el tiempo es como se muestra en la siguiente ilustración:

Figura 19. **Representación de la corriente continua**



Fuente: EBEL, F. *Fundamentos de la técnica de automatización de Festo*. p. 19.

La corriente eléctrica tiene mucha demanda hoy en día, pues es parte fundamental de la vida diaria para llevar a cabo varias tareas, es por ello que se ha creado a partir de energía renovable sobre todo, en áreas recónditas donde la distribución de la red eléctrica no tiene cobertura o esta es parcial.

2.1.1. Energía

La definición científica de energía es la capacidad de un sistema para realizar un trabajo. Los seres humanos utilizan la energía para hacer cualquier trabajo: calentar aire y agua, para transportar a las personas en los distintos medios de transporte, iluminar un edificio, casa, entre otros. Se dice que los seres humanos siempre consumen energía al realizar una acción.

La energía es una de las fuentes de subsistencia, ya que parte de la que el Sol aporta a la Tierra es su fuente de energía, recibéndola en forma de radiación, conocida como radiación solar, retenida por la atmósfera y reflejada por la superficie terrestre permitiendo así que la Tierra tenga una temperatura ambiente, como se conoce, o constante, así también por su variación provocando fenómenos meteorológicos, por ejemplo, la lluvia, viento, entre otros, que pueden ser convertidos en energía.

A excepción de la energía nuclear y geotérmica, la energía solar es la fuente única para la mayoría de energías utilizables.

2.1.1.1. Energía solar

El común denominador en cada proceso o conversión de energía, en la mayoría, es el Sol, ya que es una fuente natural de energía. Es la energía solar la que tiene un mayor desarrollo tecnológico y por tanto mayores posibilidades

de competir en el mercado. Tiene dos objetivos claros: dejar atrás o reducir el uso de los combustibles fósiles que actualmente integra la estructura energética y contribuir en el ahorro de las energías no renovables.

La energía solar directa es la energía del Sol sin transformar, que calienta e ilumina. Esta puede ser convertida en electricidad. Si la luz solar es directamente convertida a electricidad usando dispositivos que contengan material semiconductor como lo es el silicio o germanio se le llama fotovoltaico, es decir, transforma en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integradas en módulos o paneles solares. Esta electricidad se puede utilizar de manera directa, almacenarse en acumuladores o baterías para uso posterior (aislado) y se puede introducir en la red de distribución eléctrica (inyectado).

La energía solar es una de las energías renovables más limpias que existe pues no contamina el medio ambiente, es natural, es infinita, no requiere mantenimiento y es la que cuenta con mayores posibilidades pues es distribuida por todo el mundo.

Según Lluís Jutglar en su libro *Energía Solar*, se puede clasificar el aprovechamiento de la energía solar en dos categorías:

- Sistemas fototérmicos: aprovecha el efecto térmico de la radiación solar donde puede o no requerirse el aporte de otra energía.
- Sistemas fotovoltaicos: obtienen energía eléctrica directamente de la radiación solar.

Las ventajas de la energía solar que se mencionan en el libro *Energía Solar Fotovoltaica* son las siguientes:

- No produce polución ni contaminación ambiental.
- Silenciosa.
- Su vida útil es superior a los 20 años.
- Resistente a condiciones climáticas extremas: granizo, viento, etc.
- No requiere mantenimiento complejo, sólo limpieza del módulo solar y estado de baterías.
- Se puede aumentar la potencia instalada y la autonomía de la instalación, incorporando nuevos módulos y baterías respectivamente.
- No consume combustible¹⁰

Los fotones provenientes que provienen de la radiación solar son recolectados por células o celdas solares las cuales están agrupadas e interconectadas en un panel solar o fotovoltaico que puede equivaler a una batería.

2.1.1.2. Panel solar

También llamados módulos fotovoltaicos. Su función es convertir o transformar la energía solar en energía eléctrica. ¿Cómo logran esto? los módulos fotovoltaicos están integrados por celdas o células fotovoltaicas que están conectadas entre ellas en un arreglo serie-paralelo con el fin de suministrar cierto voltaje para la carga.

El hecho que las células fotovoltaicas estén conjuntas en un panel fotovoltaico es porque estos le ofrecen protección ante cualquier fenómeno climático además de brindarles una resistencia mecánica y seguridad tanto al ser humano y animales como al ambiente pues está formado por varias capas entre ellas de vidrio.

¹⁰ MÉNDEZ, Javier. *Energía Solar Fotovoltaica*. p. 37.

“Uno de los objetivos principales de los módulos respecto a las células es favorecer la máxima captación solar evacuando el calor para mejorar el rendimiento.”¹¹

- Célula Solar

Es aquí donde el efecto fotovoltaico sucede, es decir, las celdas o células fotovoltaicas tienen la función principal de convertir radiación solar (directa, difusa o reflejada) en corriente eléctrica.

El hecho que las células solares estén conectadas en serie permite que aumente la tensión final en las terminales de la célula y si están conectadas en paralelo, aumenta la corriente total del conjunto. La asociación de su interconexión será a criterio del fabricante y dependiendo del diseño para el cual se quiere utilizar.

“Una célula fotovoltaica es un dispositivo formado por una lámina de material semiconductor, cuyo grosor varía entre los 0,25 mm y los 0,35 mm, generalmente de forma cuadrada, con una superficie de aproximadamente 100 cm².”¹²

La célula fotovoltaica se compone de material semiconductor, entre los elementos que se conocen pueden ser silicio (Si) o germanio (Ge), una capa de material tipo “N” donde se encuentran mayor cantidad de portadores de carga negativa, electrones, que huecos, la más delgada, y una capa de material tipo “P” donde se encuentran mayor cantidad de portadores de carga positiva,

¹¹ MÉNDEZ, Javier. *Energía Solar Fotovoltaica*. p. 87.

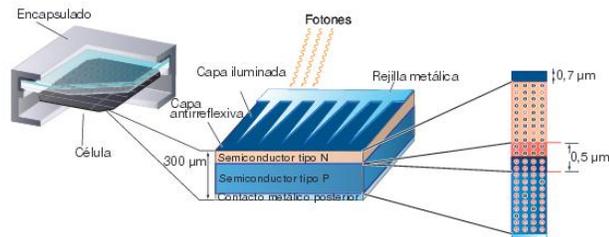
¹² *Ibíd.* p. 64.

huecos, que electrones, es más gruesa. Al unir estas dos capas se crea lo que es la “unión P-N”.

En un inicio, cuando están separadas, ambas capas están en forma neutral, es decir, tiene electrones (iones negativos) y protones (iones positivos) en igual cantidad y al unir las se crea una barrera de potencial entre ellas; una vez el rayo del sol incide sobre la capa, los fotones emitidos rompen el par electrón-hueco haciendo que la barrera de potencial separe a estos, los electrones en el material N y los huecos en el material P, evitando que se vuelvan a combinar.

Mediante una fuente externa, por ejemplo, una fuente de alimentación, un conductor, los electrones son atraídos por la fuente positiva dejando el material tipo P y repelidos por la fuente negativa llevándolos al material tipo N creando así un flujo de electrones a través de un circuito cerrado generando, lo que se conoce como, una corriente eléctrica. Por lo expuesto, la capa N es la que recibe la luz y mientras se incida sobre esta, habrá una corriente eléctrica con una intensidad proporcional a la cantidad que reciba de luz (ver figura 20).

Figura 20. **Estructura de la célula solar**



Fuente: *La célula solar*. <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>.

Consulta: junio 2016.

Las clases de tecnologías se pueden categorizar, principalmente por el tipo de material absorbente con el que son tratadas las células solares, en tres generaciones:

- Primera
 - Segunda
 - Tercera
- Primera: basada en usar materiales semiconductores muy puros como el silicio cristalino. Los materiales puros significan menos defectos y en general las celdas solares con alta eficiencia pueden ser producidas. Pero los materiales de alta calidad requieren un proceso costoso por lo que hace que el precio de área de la celda solar sea muy costoso.
 - Segunda: son los dispositivos fotovoltaicos basados en una tira delgada, usualmente se ven en la esquina superior derecha de una calculadora. Estas tiras delgadas implican menos uso de

material lo que hacen las celdas solares baratas y por lo tanto un proceso de manufactura barato. En consecuencia, se puede tener más defectos con un mal procedimiento, tanto el precio como la satisfacción sería bajo.

- Tercera: está basada en el concepto de una celda solar: celdas solares con mayor eficiencia en la conversión en comparación con la primera y segunda generación, es decir, sobrepasa el límite máximo de eficiencia. Se pretende que los materiales y el proceso de manufactura, sea barato teniendo el más bajo costo de watt pico.

Los tipos de paneles solares se clasifican según la tecnología de fabricación de las células solares como se puede observar en la figura 21 donde se detalla su rendimiento y características:

Figura 21. **Características de los tipos de paneles solares**

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fuente: *El panel solar*. <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>.

Consulta: junio 2016.

2.1.1.3. Fuente de alimentación para el diseño del sistema de automatización

Para el diseño de este sistema automatizado se ha tomado en cuenta un panel solar siendo la potencia máxima que puede entregar es 2,5 watts con una tensión de 5 V por cada 500 mAh y puede proporcionar una tensión a baterías para que estas la almacenen y al no contar con luz solar, proporcionar la tensión necesaria. En la figura 22 se puede observar el panel solar propuesto el cual requiere un espacio aproximado de 14 cm x 16 cm lo que lo hace portable por ser compacto y ligero.

$$P = 2,5 \text{ w}$$

$$V = 5 \text{ V}$$

$$I = 500 \text{ mAh}$$

Figura 22. **Panel solar propuesto**



Fuente: www.amazon.com. Consulta: marzo 2016.

Entrega 5,5 V como tensión máxima para lo cual se necesita como almacenamiento de energía baterías que soporten $\frac{3}{2}$ partes del total de la tensión del panel solar, por lo que se pueden utilizar baterías recargables NiMH 2 AA de 1,2 V cada una como se muestra a continuación.

Figura 23. **Baterías recargables**



Fuente: fotografía propia.

Las especificaciones de las baterías mostradas son:

$$V = 1,2 V$$

$$I = 1000 mAh$$

Carga estándar a 100 mAh en 16 horas

Si se colocan estas dos baterías en serie, se obtiene 2,4 V a 1000 mAh. Para cargar esas baterías mientras el panel solar recibe luz solar, se requiere de un voltaje mayor a 2,4 V con una corriente máxima de 100 mAh. Con las dos

baterías se tiene 200 mAh adicionalmente, se tienen un par de módulos de sensor y relé, así como el Arduino que también consumen, suponiendo, una corriente de 100 mAh cada uno. Tomando en cuenta estos datos, el panel solar propuesto serviría como fuente de alimentación para este diseño, pues como mínimo tiene que proporcionar 4 V y 200 mAh. Cabe mencionar, que estos valores se aplican si se quiere tener un buen rendimiento del panel solar pues si se requiere de una mayor corriente, probablemente funcionaría, pero el ciclo de vida se reduce.

Como se mencionó, el panel solar servirá como fuente de alimentación de las baterías y estas como fuente de alimentación para el Arduino. Sin embargo, el Arduino para funcionar requiere de 5V y con las baterías solo se obtiene 2,4 V. Para ello, en el diseño se ha incluido un convertidor elevador de voltaje DC-DC, conocido como *boost*, el cual elevará el voltaje de 2,4 V a 5 V que es el voltaje necesario para el cual está creado el módulo (ver figura 24).

Figura 24. **Convertidor elevador de voltaje DC-DC**



Fuente: www.amazon.com. Consulta: marzo 2016.

Las especificaciones de este convertidor se pueden observar en la siguiente tabla:

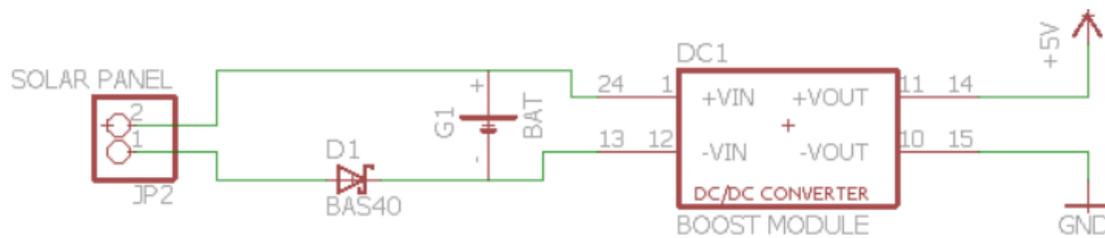
Tabla I. **Características del convertidor elevador de voltaje DC-DC**

Voltaje de entrada (V_{in})	0,9 - 5 V_{DC}
Voltaje de salida (V_{out})	5 V_{DC}
Corriente de entrada	600 mA
Cuenta con un puerto USB	
Fabricante: Uxcell	

Fuente: www.amazon.com. Consulta: marzo 2016.

El circuito electrónico requerido se muestra a continuación:

Figura 25. **Circuito esquemático para la fuente de alimentación del sistema**



Fuente: elaboración propia, empleando el software Eagle.

2.2. **Microcontrolador: Arduino**

Como se mencionó en el capítulo anterior, el cerebro del Arduino es el ATMEGA328 (también existe el ATMEGA168), y la accesibilidad y facilidad para su programación han hecho que el Arduino sea un dispositivo amigable para integrarlo en proyectos sencillos y complejos. Entre las funciones del Arduino está el procesar los datos desde la interfaz de entrada hacia el microcontrolador, el cual dependerá de las funciones a ejercer, así como de las

necesidades a suplir, llevar información procesada a los periféricos encargados del uso final de los datos, usualmente, hacia una placa u objeto externo.

Como se puede observar en la figura 26, el Arduino Nano cuenta con una conexión Mini-B USB por donde puede ser alimentada; se puede utilizar el cargador de los celulares Samsung. Los 14 pines digitales con los que cuenta pueden ser utilizados como pines de entrada o de salida operando a 5 V brindando o recibiendo 40mA como máximo. Cabe mencionar que cada uno de estos pines cuenta una resistencia *pull-up* de 20 a 50 kOhms. Tiene pines digitales, así como análogos que ofrece 10 bits de resolución (1024 valores distintos).

La comunicación del Arduino Nano no es complicado, microcontroladores como el PIC o MSP430 y computadoras, una buena combinación es trabajar con Arduino y Raspberry Pi, a través de la comunicación serial por UART por medio de USB y los controladores FTDI los cuales proveen un puerto de comunicación virtual en el software de la computadora. Al momento de establecer una comunicación y se transfieran datos, parpadean los ledes integrados en el tablero del Arduino Nano que se identifican con Rx (recepción) y Tx (transmisión). El microcontrolador ATmega328 también soporta las comunicaciones I2C y SPI.

Figura 26. **Arduino Nano**



Fuente: *Arduino Nano*. www.arduino.cc. Consulta: marzo 2016.

Las especificaciones del Arduino Nano que comparte la página oficial de Arduino, www.arduino.cc, se detallan en la siguiente tabla:

Tabla II. **Especificaciones del Arduino Nano**

Microcontrolador	Atmel ATmega168 o ATmega328
Voltaje de operación (nivel lógico)	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 – 12 V
Voltaje de entrada (límites)	6 – 20 V
Pines E/S Digitales	14 (6 son salidas de PWM)
Pines de Entrada análogas	8
Corriente DC por cada Pin E/S	40 mA
Memoria Flash	32 KB (ATmega328) donde 2KB son utilizados para el bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidad del reloj	16 MHz
Dimensiones	0,73" x 1,70"
Longitud	45 mm
Ancho	18 mm
Peso	5 g

Fuente: *Especificaciones Arduino Nano*. www.arduino.cc. Consulta: marzo 2016.

En el caso de este diseño, se considera al Arduino Nano por su tamaño pequeño pues puede ser adaptado en espacios pequeños para proyectos sencillos, es un tipo de tablero completo, amigable y para nada complejo.

En el Arduino Nano se configura un programa, el cual se explica en el siguiente capítulo, que sea capaz de leer y procesar los datos obtenidos a través de uno de sus pines digitales, el cual está conectado al sensor de humedad de tierra e interpretando si ese dato obtenido se encuentra en un rango establecido que representa la existencia o no de humedad en la tierra determina si esta todavía está húmeda o si requiere de agua. Esto lo logra enviando un pulso por uno de sus pines digitales a un relé cuya función se explicará en el siguiente apartado.

Como se explicó anteriormente, el Arduino Nano es alimentado por un par de baterías que suministran los 5 V por medio de un *boost* que cuenta con entrada USB, así mismo el Arduino Nano cuenta con pines que proporcionan 3,3 V y 5 V, con este último se alimenta al relé y al sensor de humedad de tierra que están conectados a él.

En este caso se ha utilizado el Arduino Nano por temas de sencillez del diseño, sin embargo, también se pudo haber propuesto el Arduino UNO o Arduino Mega que es aún más potente. A continuación, se muestra una tabla comparativa de la familia Arduino en la figura 27.

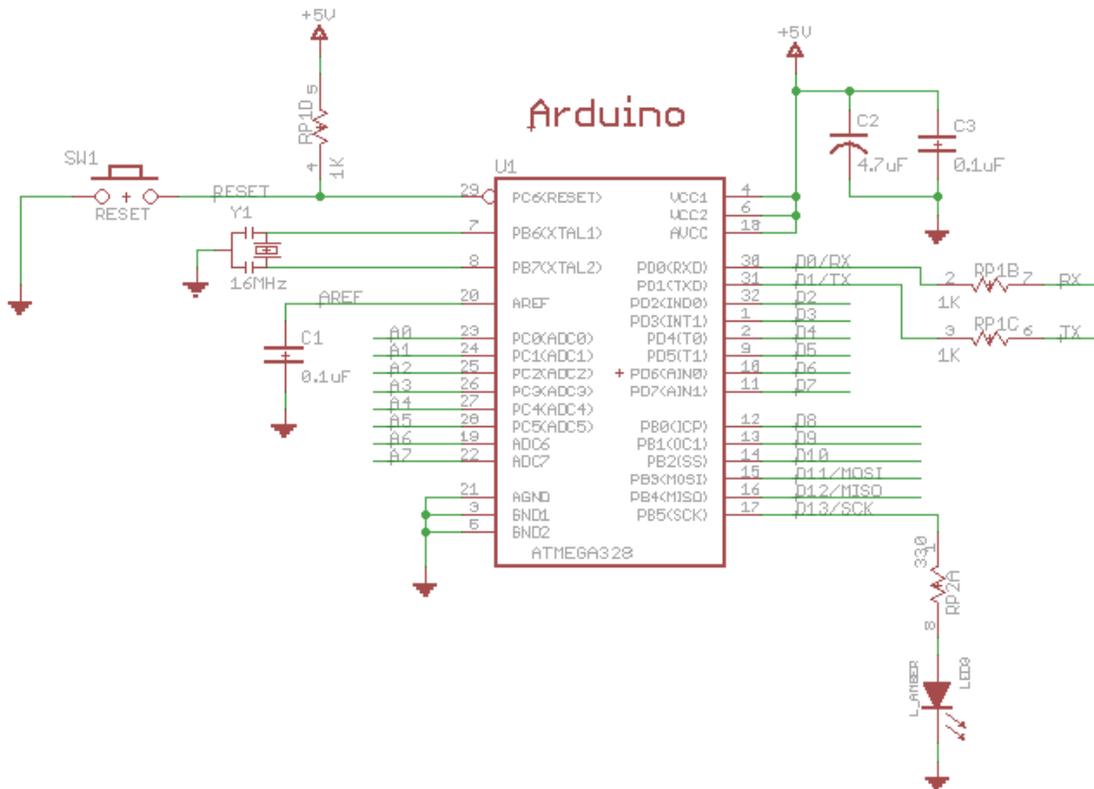
Figura 27. Comparación entre la familia Arduino

Name	Processor	Operating/Input Voltage	CPU Speed	Analog In/Out	Digital IO/PWM	EEPROM [kB]	SRAM [kB]	Flash [kB]	USB	UART
101	Intel® Curie	3.3 V / 7-12V	32MHz	6/0	14/4	-	24	196	Regular	-
Due	ATSAM3X8E	3.3 V / 7-12 V	84 MHz	12/2	54/12	-	96	512	2 Micro	4
Cemna	ATtiny85	3.3 V / 4-16 V	8 MHz	1/0	3/2	0.5	0.5	8	Micro	0
LilyPad	ATmega168V ATmega328P	2.7-5.5 V / 2.7-5.5 V	8MHz	6/0	14/6	0.512	1	16	-	-
LilyPad SimpleSnap	ATmega328P	2.7-5.5 V / 2.7-5.5 V	8 MHz	4/0	9/4	1	2	32	-	-
LilyPad USB	ATmega32U4	3.3 V / 3.8-5 V	8 MHz	4/0	9/4	1	2.5	32	Micro	-
Mega 2560	ATmega2560	5 V / 7-12 V	16 MHz	16/0	54/15	4	8	256	Regular	4
Mega ADK	ATmega2560	5 V / 7-12 V	16 MHz	16/0	54/15	4	8	256	Regular	4
Micro	ATmega32U4	5 V / 7-12 V	16 MHz	12/0	20/7	1	2.5	32	Micro	1
MKR1000	SAMD21 Cortex-M0+	3.3 V / 5V	48MHz	7/1	8/4	-	32	256	Micro	1
Nano	ATmega168 ATmega328P	5 V / 7-9 V	16 MHz	8/0	14/6	0.512 1	1 2	16 32	Mini	1
Pro	ATmega168 ATmega328P	3.3 V / 3.35-12 V 5 V / 5-12 V	8 MHz 16 MHz	6/0	14/6	0.512 1	1 2	16 32	-	1
Pro Mini	ATmega328P	3.3 V / 3.35-12 V 5 V / 5-12 V	8 MHz 16 MHz	6/0	14/6	1	1	32	-	1
Uno	ATmega328P	5 V / 7-12 V	16 MHz	6/0	14/6	1	2	32	Regular	1
Yún	ATmega32U4 AR9331 Linux	5 V	16 MHz 400MHz	12/0	20/7	1	2.5 16MB	32 64MB	Micro	1
Zero	ATSAMD21C18	3.3 V / 7-12 V	48 MHz	6/1	14/10	-	32	256	2 Micro	2

Fuente: *Comparación de características*. www.arduino.cc. Consulta: marzo 2016.

En la figura 28 se muestra el circuito esquemático y PCB del Arduino Nano.

Figura 28. Diseño esquemático de Arduino Nano



Fuente: *Esquema y diseño*. www.arduino.cc. Consulta: marzo 2016.

2.3. Etapa de sensado y automatización

En esta etapa se considera un sensor de humedad de tierra y se propone el módulo HL-69 (ver figura 29) el cual es simple, ya que puede detectar la humedad del suelo a través de sus dos terminales, las cuales son conductoras

que están expuestas y separadas entre sí (ver figura 30) y aprovechan su conductividad para medir la humedad contenida en el suelo.

Su funcionamiento consiste en que al aplicar una pequeña tensión entre las terminales del módulo mencionado se genera una corriente que depende básicamente de la resistencia que se crea en el suelo y esta depende mucho de la humedad. Por lo tanto, al aumentar la humedad, la corriente crece y al disminuir, la corriente decrece; debido al agua detectada se cierra el circuito entre las terminales ya que el agua no es un aislante como el aire, sino que presenta una característica conductiva. Al cerrarse el circuito, se detecta por un circuito de control (ver figura 31) que tiene circuito integrado (CI) un amplificador operacional LM393 (comparador) que será el encargado de transformar la conductividad registrada a un valor analógico que podrá ser leído por Arduino.

El módulo de control cuenta con dos tipos de salidas: análoga y digital. La análoga tiene la característica de ser más precisa con las mediciones, el nivel de voltaje depende directamente de la cantidad de humedad contenida en el suelo que mida por las terminales y el valor entregado variará entre los niveles de 0 a 1 023. Mientras que en la salida digital se obtiene un pulso bajo cuando haya conductividad suficiente entre las terminales. El potenciómetro que se observa dentro del cuadro rojo en el circuito de mando es para variar la precisión del umbral de disparo (ver figura 31).

Las características de este módulo se describen en la tabla siguiente.

Tabla III. **Características del HL-69**

Voltaje de operación	3,3 V – 5 V
Tipos de salidas	Análoga (precisa) o Digital (sencilla)
Contiene un circuito integrado LM393 que es un amplificador comparador	
Led indicador de encendido (rojo) y led indicador para la conmutación de salida digital (verde)	
Interfaz:	
Vcc:	3,3 V – 5 V
GND:	GND
DO:	Salida digital (0s y 1s)
AO:	Salida análoga (0 y 1023)
	V = 0 V – 4,2 V
	I = 35 mA

Fuente: *Sensor de humedad HL-69*. www.solderingsunday.com. Consulta: mayo 2016.

Figura 29. **Sensor de humedad de tierra HL-69**



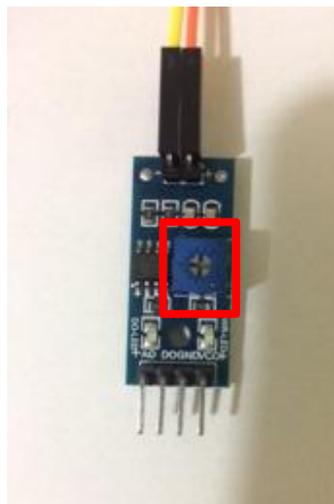
Fuente: *Módulo sensor de humedad*. www.electronicarych.com. Consulta: mayo 2016.

Figura 30. **Terminales del módulo HL-69**



Fuente: *Módulo sensor de humedad*. www.electronicarych.com. Consulta: mayo 2016.

Figura 31. **Circuito de control del módulo HL-69**



Fuente: *Módulo sensor de humedad*. www.electronicarych.com. Consulta: mayo 2016.

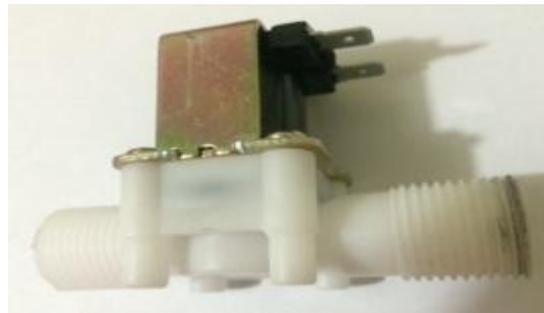
En referencia a la etapa de automatización se acude a los actuadores como el relé y la electroválvula que se muestran en las figuras 32 y 33 a continuación.

Figura 32. **Módulo relé para Arduino**



Fuente: *Módulo de relay*. www.electronicarych.com. Consulta: mayo 2016.

Figura 33. **Electroválvula**



Fuente: *Sensores de agua, flujo y nivel*. www.abcelectronica.net. Consulta: mayo 2016.

El módulo relé se alimenta con $5 V_{DC}$ que justamente es el mismo voltaje que suministra el Arduino Nano en uno de sus pines, por lo que se ahorra el diseñar y armar un circuito externo para su alimentación, así como para la de la electroválvula y requiere de una corriente de 20 mA, recordando que cada pin del Arduino Nano provee 40 mA. Además, soporta hasta 10 A a un voltaje de $250 V_{AC}$ o $30 V_{DC}$.

El módulo de relé de un canal es compatible con el Arduino Nano y sirve en este diseño para controlar y proteger la electroválvula que está conectada a su salida por medio de la conmutación (como un *switch*) al recibir un pulso del pin digital al que está conectado una vez el sensor de humedad de tierra detecte falta de humedad en el suelo a su pin de entrada de señal de estado lógico. En pocas palabras, el módulo relé activa o desactiva la electroválvula según la señal lógica que reciba indicándolo por medio de sus ledes.

El actuador restante es la electroválvula que trabaja con un voltaje de $12 V_{DC}$ y que está conectada a la salida del módulo relé. Esta se encarga de permitir el flujo de agua en una sola dirección al estar normalmente abierta pues se encuentra normalmente cerrada. De igual forma, requiere de presión para accionarse. Se compone de dos partes fundamentales que conforman su nombre: la bobina el cual es el elemento sobre el que se efectúa electricidad y la válvula, la cual hace la función de la mecánica al abrir o cerrar el paso. La tabla a continuación detalla las características de la electroválvula propuesta.

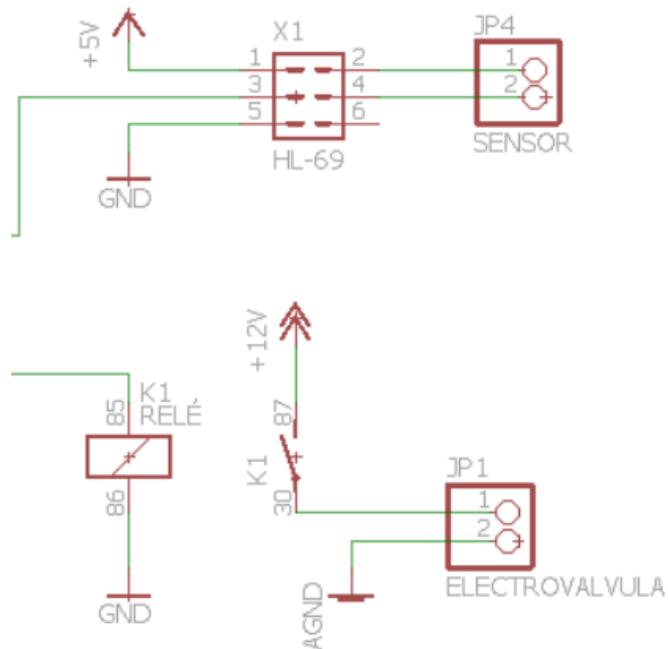
Tabla IV. **Características de electroválvula**

Tamaño de la rosca	1/2"
Presión de trabajo	0,02 Mpa – 0,8 Mpa
Temperatura de trabajo	1°C a 75°C
Tiempo de respuesta (abierta)	≤0,15 segundos
Tiempo de respuesta (cerrada)	≤0,3 segundos
Voltaje de trabajo	12 V_{DC}
Caudal	0,0125 m^3/h – 3,5 m^3/h
Dimensiones	3" x 2,25" x 2"

Fuente: *Válvula solenoide para agua 12VDC*. www.abcelectronica.net. Consulta: mayo 2016.

El circuito esquemático para esta etapa se observa en la figura 34.

Figura 34. **Circuitos esquemáticos de la etapa de sensado y automatización**



Fuente: elaboración propia, empleando el software Eagle.

3. DISEÑO DE SOFTWARE DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

El programa propuesto para este diseño es relativamente sencillo pues solamente se utilizan dos pines digitales: uno para obtener una medida y el otro para enviar un pulso dependiendo de la medición en el primer pin. Se utiliza también un led que está integrado en el Arduino Nano como un indicador visual adicional.

Se toma como referencia la librería para el sensor de humedad DHT11 la cual se incluye en el programa para definir el pin al que irá conectado el HL-69 que en este caso será el pin digital 7 que se establece como entrada a la señal enviada por el sensor de humedad de tierra. Así mismo, se establece que el led que está integrado en el tablero sea una salida.

Para iniciar el programa, se establecen los parámetros que se van a ejecutar solamente una vez. Como existe una comunicación serial para observar los valores medidos, se inicia la misma a una velocidad de transferencia de 9 600 Baudios que es lo recomendable. También se inicia el programa haciendo uso de la librería y se determina el pin digital 13 como salida, ¿por qué? porque a través del pin digital 7 se lee una entrada digital proveniente del sensor y es esa medición la que será nuestra referencia para que el pin 13 se ponga en alto o en bajo provocando que el relé conectado a este pin conmute o no hacia la electroválvula. La medición que se obtiene por medio del pin 7 es impresa en el monitor serial que incluye el software Arduino IDE. Cabe mencionar que esta medición está dentro de un bucle, es decir se ejecuta repetitivamente, y se actualiza, para evitar cualquier inconveniente con

las mediciones, cada segundo que equivale a los 1 000 milisegundos que se indican en el programa.

A continuación, se muestra el código (ver figura 35).

3.1. Código para el control del sistema

Se muestra el código en la figura 36 para la configuración del Arduino Nano que es el cerebro del sistema de automatización donde se relacionan los pines de entrada y de salida, análogos y digitales, como un sistema de control con el fin de accionar un actuador que dé paso o no al agua a partir de una medición de humedad de tierra.

Se configura un pin como entrada para el sensor de humedad a través del cual el valor de humedad, según el rango establecido en el código, indicará si la tierra está o no húmeda. También se configura un led propio del Arduino Nano como indicador visual que se encenderá si la humedad es baja, es decir que la tierra necesita agua. Por lo que se configura un pin como salida hacia el módulo relé que es parte del actuador junto con la electroválvula para que fluya el agua en una dirección a partir del indicador.

La medición de humedad se realiza cada un segundo y se puede desplegar en un monitor siempre y cuando exista la comunicación serial que también está en la programación.

Figura 35. **Código en Arduino Nano para la medición de humedad y paso de agua**

```
#include "DHT.h" //Se incluye la librería DHT11 (se utiliza como referencia)
#define DHTPIN 7 //Se define el pin digital 7 como entrada para la medición
#define DHTTYPE DHT11 //Se define el tipo de sensor
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
int led = 13; //indicador visual, led integrado en el nano
void setup() { //se establecen los parámetros fijos
  Serial.begin(9600); //comunicación serial por UART a 9600 Baudios
  dht.begin(); //inicia el programa por tiempo indefinido ()
  pinMode(led, OUTPUT); //se determina que el pin 13 es salida
}
void loop() { //inicia el bucle
  int h = dht.readHumidity(); // Lee la humedad
  //int t= dht.readTemperature(); //Lee la temperatura
  ////////////////////////////////////////////////////
  Serial.print("Humedad: "); //muestra la palabra "Humedad:" en el monitor
  Serial.print(h); //se muestra o imprime la lectura de la humedad en el monitor serial
  Serial.println(" %"); //se imprime el %
  //*****establecemos el rango de medición para la humedad**//
  if (h<60){
    digitalWrite(led, HIGH); // cuando la humedad medida sea menor a 60, el pin 13 tiene
    un pulso alto
    ↓
  }
  if (h>=60){
    digitalWrite(led, LOW); // cuando la humedad medida sea mayor o igual a 60, el pin 13
    tiene un pulso bajo
  }
  //delay (2500);
  ////////////////////////////////////////////////////
  delay (1000); //las mediciones se refrescan cada 1 segundo (1000 milisegundos)
  //Serial.println ();
}
```

Fuente: elaboración propia, empleando el software Arduino IDE.

Figura 36. Código en Arduino IDE



```
#include "DHT.h" //Se incluye la libreria DHT11 (se utiliza como referencia)
#define DHTPIN 7 //Se define el pin digital 7 como entrada para la medicion
#define DHTTYPE DHT11 //Se define el tipo de sensor
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
int led = 13; //indicador visual, led integrado en el nano
void setup() { //se establecen los parametros fijos
  Serial.begin(9600); //comunicacion serial por uart a 9600 baudios
  dht.begin(); //inicia el programa por tiempo indefinido ()
  pinMode(led, OUTPUT); //se determina que el pin 13 es salida
}
void loop() { //inicia el bucle
  int h = dht.readHumidity();// Lee la humedad
  //int t= dht.readTemperature();//Lee la temperatura
  ////////////////////////////////////////////////////////////////////
  Serial.print("Humedad: "); //muestra la palabra "Humedad:" en el monitor
  Serial.print(h);//se muestra o imprime la lectura de la humedad en el monitor serial
  Serial.println(" %"); //se imprime el %
  //*****establecemos el rango de medicion para la humedad**//
  if (h<60){
    digitalWrite(led, HIGH); // cuando la humedad sensada o medida sea menor a 60, el pin 13 tiene un pulso alto
  }
  if (h>=60){
    digitalWrite(led, LOW); // cuando la humedad sensada o medida sea mayor o igual a 60, el pin 13 tiene un pulso bajo
  }
  //delay (2500);
}
```

Compilado

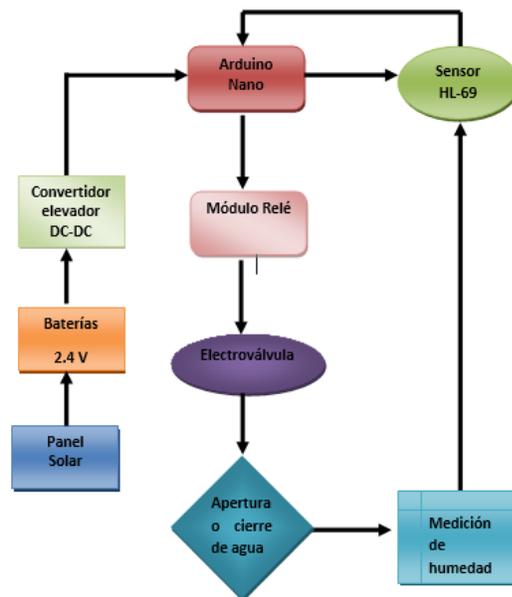
El Sketch usa 4,528 bytes (14%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 30,720 bytes.
Las variables Globales usan 238 bytes (11%) de la memoria dinámica, dejando 1,810 bytes para las variables locales. El máximo

Fuente: elaboración propia, empleando el software Arduino IDE.

4. DISEÑO FINAL DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

Para evitar el uso excesivo o innecesario del agua en cuestiones de riego, la automatización del mismo es una solución, pues el ser humano solamente se ocuparía de un mantenimiento mínimo para la iniciación, pues el sistema trabaja para la primera actividad. El diagrama de bloques que representa el diseño mencionado se muestra en la figura 37.

Figura 37. Diagrama de bloques del diseño del sistema de automatización para el flujo de agua a partir de una medición del sensor de humedad de tierra



Fuente: elaboración propia.

4.1. Características del sistema

Con base en los capítulos anteriores, su función en cuanto a la aplicación para un mejor uso del agua se basa en utilizar energía renovable, en este caso la radiación solar proveniente de la energía del sol recolectada por un panel solar cuya potencia es de 2,5 W y este alimenta a un controlador cuando hay presenta de radiación solar pues cuando no la hay, el encargado de suministrar la energía necesaria serán las baterías que son recargadas por el panel solar. El controlador propuesto es el Arduino Nano que es el encargado del proceso, el cual será realimentado por medio del sensor de humedad de tierra a partir del cual, para estar a un nivel de humedad de referencia, puede accionar o no el actuador, papel interpretado por el módulo relé en serie con una electroválvula.

El pequeño panel solar suministrando aproximadamente 5 V, como máximo 5,5 V siempre y cuando la radiación solar sea captada por él, será la fuente de alimentación de la placa de Arduino Nano siendo suficiente para que este funcione con radiación solar. De no contar con ella, se adapta un par de baterías recargables siendo estas las que alimenten al controlador a través de un convertidor elevador DC-DC. Cabe mencionar que este convertidor elevador se alimenta entre 2,5 V y 5 V y suministra 5 V, tensión necesaria para el Arduino Nano. Como protección de ambas fuentes de alimentación para que no ocurra un corto circuito, se utiliza un diodo para evitar corrientes de fuga, ya que los diodos solamente transportan corriente en una sola dirección (de ánodo a cátodo).

El sistema es controlado por el Arduino Nano el cual se configura por medio de un programa donde se ejecutan las diferentes tareas para este sistema como obtener mediciones desde el sensor de humedad de tierra y enviar señales (1s o 0s lógicos) a manera de activar la electroválvula en dos de

sus pines digitales. El Arduino Nano está programado para leer un valor enviado por el sensor HL-69 que es comparado entre dos intervalos de humedad establecidos. Por ejemplo, si el valor enviado por el sensor es mayor o igual a ese número, indica humedad por lo que no habrá paso de agua y los ledes se mantienen apagados, pero si ese valor está por debajo de ese número habrá paso de agua y los ledes se encenderán.

La función de la electroválvula en este caso pues será, dependiendo de la señal recibida por el Arduino Nano y la conmutación del módulo relé, de permitir el paso de agua en caso no haya humedad (valor menor al número de referencia) o de cerrar el paso de agua en caso haya humedad en la tierra (valor mayor al número de referencia) proveniente de un depósito que requiere una apertura. La electroválvula se encuentra normalmente cerrada, por lo que requiere de una presión de agua y de un pulso eléctrico proveniente del módulo relé para su apertura y que fluya el agua.

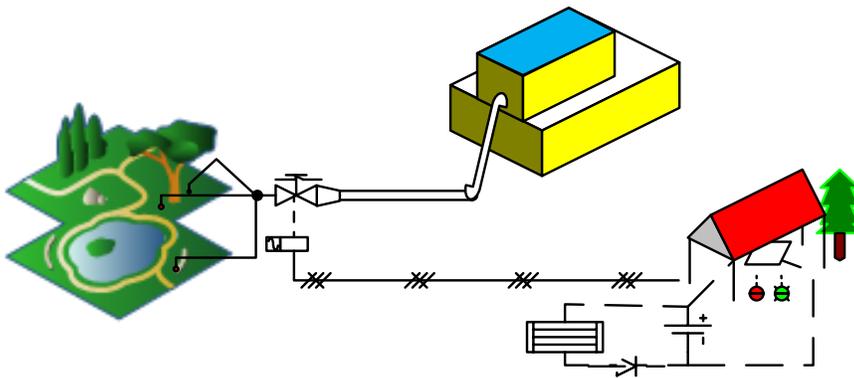
El sensor de humedad de suelo al “sentir” humedad en la tierra, hará que circule agua entre sus terminales cerrando el circuito y así enviar una señal lógica al Arduino Nano: por ejemplo, un 1 (lógico) indicando que hay humedad por lo que la electroválvula cerrará el paso de agua; y en dado caso no haya humedad en la tierra, el sensor enviará la señal con un 0 (lógico) indicando que no hay humedad permitiendo el paso de agua hacia la tierra hasta que esta esté húmeda.

Cabe destacar que el nivel de humedad depende del lugar en donde este sistema se aplique, así como del personal a cargo de este tipo de actividad como es el riego.

Se muestran dos tipos de escenarios para los cuales puede ser implementado el diseño del sistema automatizado, así como los circuitos esquemáticos que lo integran:

- Primer escenario

Figura 38. **Primer escenario de aplicación del sistema automatizado**



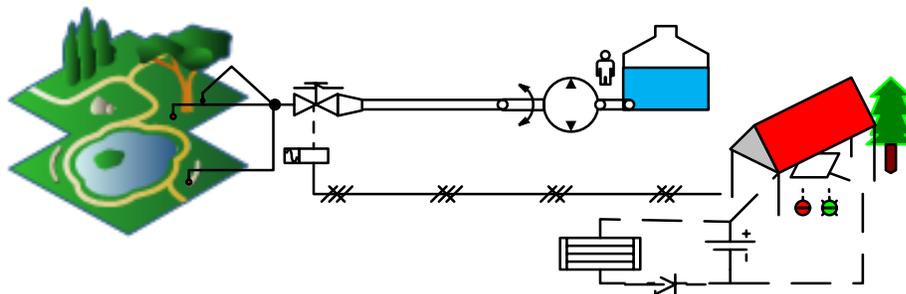
Fuente: elaboración propia, empleando Visio Professional.

Como se puede observar en este escenario, el depósito con agua se ubica en las alturas por lo que la tubería que es el medio por el cual fluye el agua, utiliza la gravedad para distribuir el agua en la tierra. La electroválvula se coloca entre el extremo del fin de la tubería principal y las tuberías de distribución. Se necesita cablear bastante para tener solamente la electroválvula en el área donde existe agua y tener la parte restante del hardware en un sitio seco y donde la luz solar impacte más. Una ventaja de este escenario es que el sistema es completamente automatizado pues no se involucra al ser humano mas que en un mantenimiento básico para iniciar el proceso. Sin embargo, una

desventaja es cuestionar si la gravedad da la presión necesaria para cambiar el estado a normalmente abierto de la electroválvula.

- Segundo escenario

Figura 39. **Segundo escenario de aplicación del sistema automatizado**

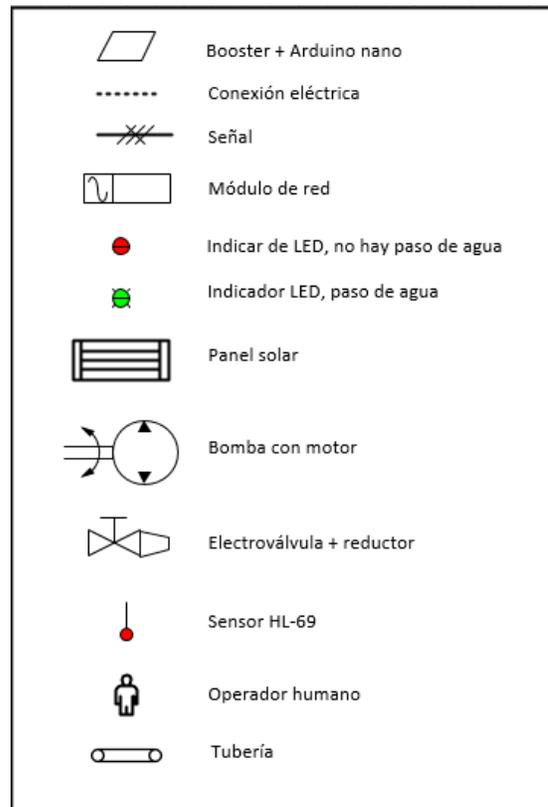


Fuente: elaboración propia, empleando Visio Professional.

Por otro lado, en este escenario se muestra como se requiere de la involucración del ser humano para manejar la llave principal de agua con la cual se generaría una mayor presión y rapidez para cambiar el estado a normalmente abierto de la electroválvula, por lo que no importaría si la ubicación del depósito está a cierta altura. Un punto a favor de este escenario es que está asegurado el correcto funcionamiento de la electroválvula, debido a que recibiría la presión necesaria para su activación y un punto no tan a favor es que sería un sistema semiautomático debido a la presencia parcial del operador humano.

Para ambos escenarios, se aplica la siguiente simbología:

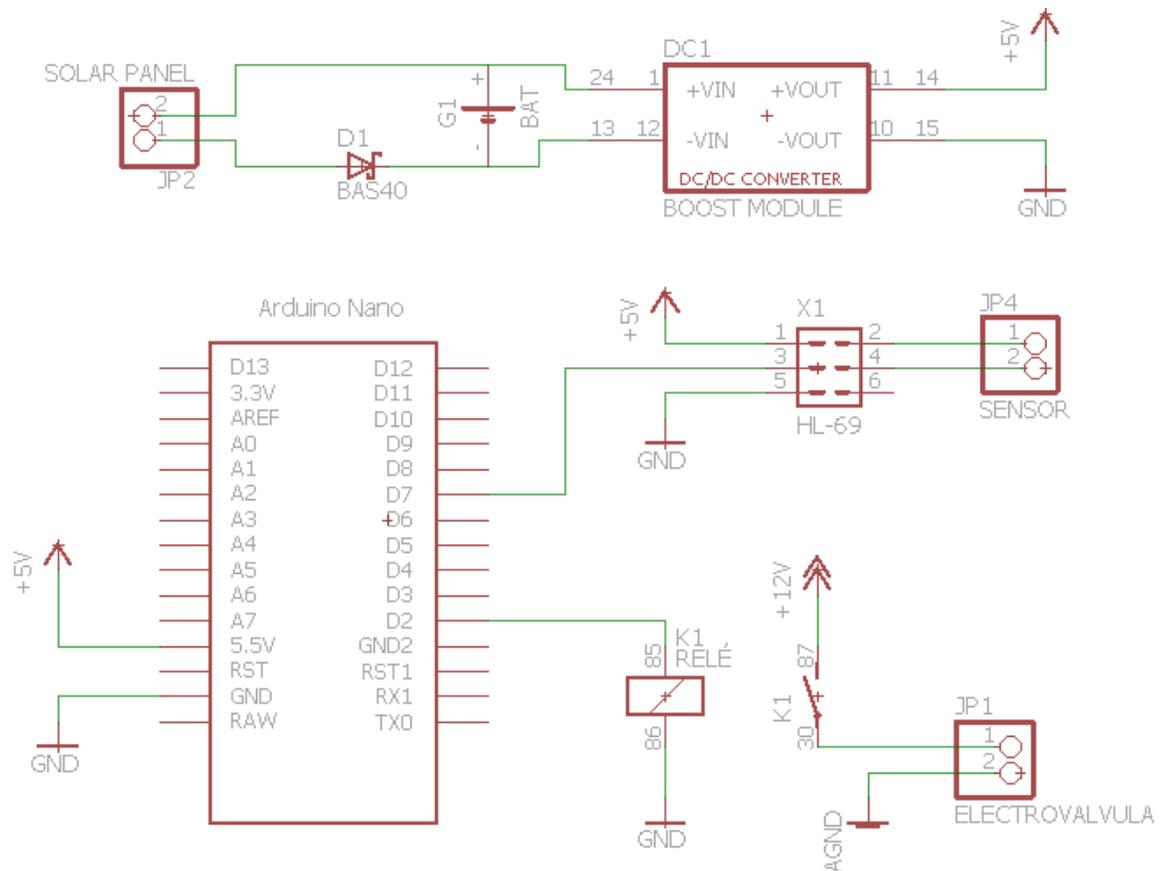
Figura 40. **Simbología para escenarios de aplicación del sistema automatizado**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio Professional.

En la figura 41, se muestra el circuito electrónico esquemático del sistema de automatización expuesto en capítulos anteriores.

Figura 41. **Circuito esquemático para el sistema de automatización para el flujo de agua a partir de una medición del sensor de humedad de tierra**



Fuente: elaboración propia, empleando el software Eagle.

El presupuesto para este diseño se considera accesible y se detalla a continuación:

Tabla V. **Presupuesto**

Componente	Costo	Cantidad	Total
Microcontrolador (Arduino nano)	Q100,00	1	Q100,00
Sensor de humedad	Q55,00	1	Q55,00
Sensor de humedad de tierra	Q26,00	1	Q26,00
Protoboard	Q100,00	1	Q100,00
Electroválvula DC	Q100,00	1	Q100,00
Boost DC-DC	Q20,00	1	Q20,00
Panel solar 5V 2.5W	Q75,00	1	Q75,00
Reductor de manguera	Q17,00	1	Q17,00
Pegamento PVC	Q30,00	1	Q30,00
Baterías recargables	Q40,00	1	Q40,00
Socket para 2 baterías	Q10,00	1	Q10,00
Diodo IN4007	Q5,00	5	Q25,00
TOTAL			Q598,00

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se expusieron los fundamentos de la automatización, en donde se conoció su definición y concepto así como la diferencia con la mecanización, término con el que comparte ciertas similitudes; los tipos y clases en las que se desglosa, las aplicaciones o áreas en las que se puede identificarla, y las ventajas y desventajas que conlleva implementarla en un proceso, proyecto y empresa.
2. Se logró diseñar el hardware para el sistema automatizado al integrar un panel solar como fuente de alimentación, Arduino Nano como el cerebro controlando los procesos (medición y envío de señales), y sensores de humedad de tierra en conjunto con actuadores como lo es el relé y la electroválvula para obtener un resultado deseado. Estos elementos integrados representaron un sistema de control automático cuyo concepto se expuso en el primer capítulo.
3. Con la herramienta Arduino IDE para programar las diferentes clases de Arduino, en este caso Arduino Nano, se propuso un programa como diseño de software automatizado, el cual consiste en obtener un valor de medición captada por sensores de humedad de tierra, HL-69, para enviar una señal digital que active (HIGH) o deje en estado normal (desactivado, LOW), cualquiera que fuese el caso, el actuador.
4. Al unir los diseños de hardware y software, se obtuvo un diseño final del sistema automatizado para el cual se reunieron dispositivos electrónicos de bajo costo y la utilización de un recurso natural infinito como lo es la

energía solar conjunto a conocimientos de ingeniería electrónica para que este sistema funcione bajo ciertas características y requerimientos semiautomáticos o automáticos, dependiendo de la participación mínima de un operador humano para no contribuir al desempleo.

RECOMENDACIONES

1. Posicionar el panel solar donde se capte la mayor radiación solar.
2. Considerar el tamaño del área de interés para determinar el número de sensores de humedad de tierra a utilizar.
3. Considerar el tamaño del área de interés para determinar el número de sensores de humedad de tierra a utilizar.
4. Tomar en cuenta el consumo de potencia de los dispositivos a utilizar.
5. El uso fijo de una computadora para el monitoreo constante del sistema y observar las mediciones de humedad que despliega el sensor para llevar estadísticas y a partir de ellas, ir mejorando.
6. Este sistema está diseñado para una área pequeña de aproximadamente 80 cm, por lo que de ser una más grande, considerar dispositivos más robustos con mayor capacidad.
7. Para contribuir con el ahorro del agua, se puede integrar en conjunto a este sistema la técnica de riego por goteo.
8. Tener cuidado con las conexiones en cuanto al cable a utilizar, el blindaje, ambiente, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANGULO, Cecilio. *Tecnología de sistemas de control*. 1a ed. España: Los autores, 2004. 174 p.
2. ARDUINO. *Arduino*. [en línea]. <<https://www.arduino.cc>>. [Consulta: mayo de 2016].
3. CANALES, Russel. *Aplicaciones de la automatización*. [en línea]. <<https://canaleslicla.files.wordpress.com/2013/10/capitulo2.pdf>>. [Consulta: mayo de 2016].
4. CHEN, XiaoQi. *Advanced automation techniques in adaptive material processing*. Singapore: World Scientific, 2002. 302 p.
5. DACS. *Sensores capacitivos*. [en línea]. <<http://sensoresdeproximidad.blogspot.com/p/capacitivo.html>>. [Consulta: mayo de 2016].
6. EBEL, F. *Fundamentos de la técnica de automatización*. [en línea]. <http://lehrerfortbildung-bw.de/faecher/nwt/fb/atechnik/grundlagen/es/kapitel/563062_Fundamentos_de_la_tecnica_de_automatizacion.pdf>. [Consulta: mayo de 2016].
7. KUO, Benjamin C. *Sistemas de control automático*. 7ma. ed. México: Prentice Hall, 1996. 905 p.

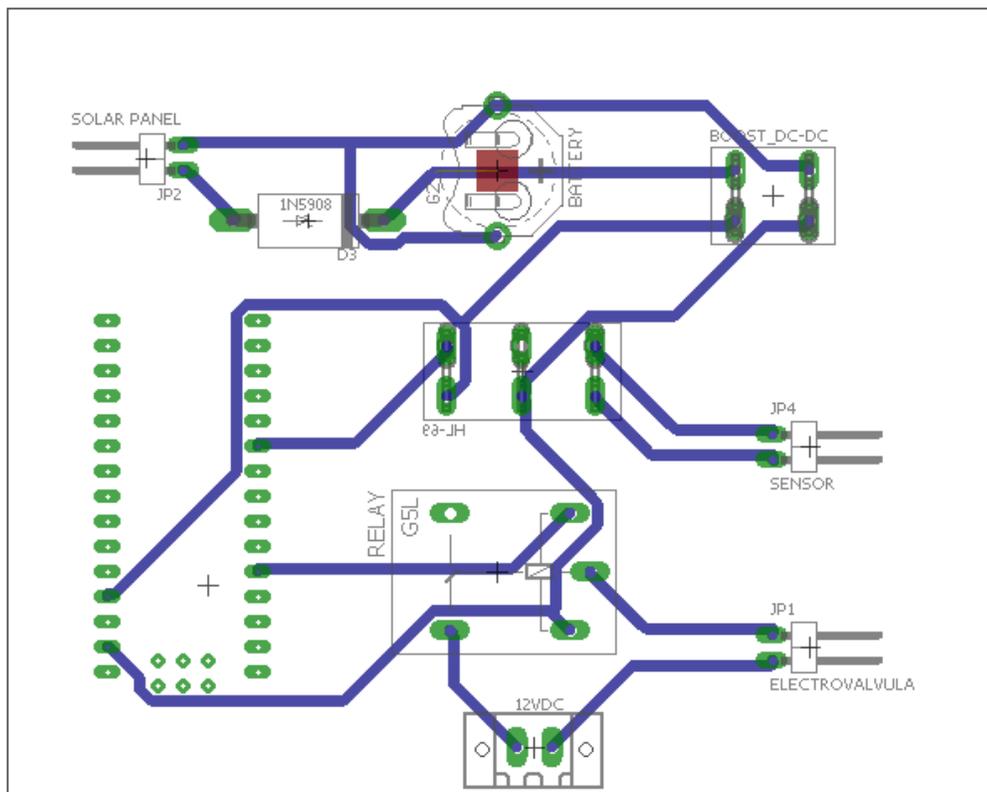
8. MCGRAW HILL EDUCATION. *Panel solar*. [en línea]. <<http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>>. [Consulta: mayo de 2016].
9. MÉNDEZ, Javier. *Energía solar fotovoltaica*. 2a. ed. España: Fundación Cofemetal, 1995. 255 p.
10. NOF, Shimon Y. *Springer handbook of Automation*. Alemania: Springer, 2009. 1812 p.
11. PALLÁS, Ramón. *Sensores y acondicionadores de señal*. 4a. ed. España: Marcombo, 1995. 483 p.
12. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. *Sensores de humedad*. [en línea]. <<http://www.slideshare.net/EducaredColombia/sensores-de-humedad>>. [Consulta: mayo de 2016].
13. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. *Automatización*. [en línea]. <<http://dle.rae.es/?id=4TO3M08>>. [Consulta: mayo de 2016].
14. ROGERS, Jack. *Automation technology's new face*. Estados Unidos: University of California, Berkeley, 1958. 95 p.
15. RUIZ, Antonio. *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. 1a ed. España: Marcombo, 2010. 411 p.

16. SAPIENSMAN. *Control automático*. [en línea]. <http://www.sapiensman.com/control_automatico>. [Consulta: mayo de 2016].
17. VILANOVA, Ramón. *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA*. 1a ed. España: Los autores, 2005. 117 p.
18. VILDÓSOLA, Eugenio. *Actuadores*. [en línea]. <<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>>. [Consulta: mayo de 2016].
19. WIKIPEDIA. *ATMEGA328*. [en línea]. <<https://es.wikipedia.org/wiki/Atmega328>>. [Consulta: mayo de 2016].

APÉNDICE

Se presenta el diseño PCB de los módulos expuestos anteriormente que al complementarse junto al Arduino Nano, generan un sistema de automatización para el flujo de agua.

Apéndice 1. PCB sistema de automatización

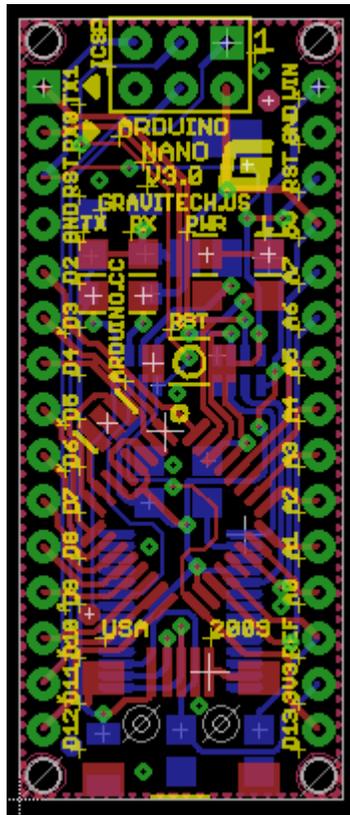


Fuente: elaboración propia, empleando el software Eagle.

ANEXO

Se presenta el diseño PCB del Arduino Nano que es el cerebro del sistema de automatización y los módulos expuestos anteriormente que al complementarse, generan un sistema de automatización para el flujo de agua.

Anexo 1. PCB Arduino Nano



Fuente: *Esquema y diseño*. www.arduino.cc. Consulta: marzo 2016.

