

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

Centro Universitario UAEM Texcoco



“INTERFAZ MÁQUINA-MÁQUINA PARA EL CONTROL DE PRESIÓN
QUE EJERCEN LAS BOMBAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN
UNIDADES HABITACIONALES”

T E S I S

Que para obtener del título de

Ingeniero en Computación

Autor: José Iván Argüello González

Director de tesis: Dr. en C. Oziel Lugo Espinosa

2016

Tabla de contenido

Índice de figuras	ix
Índice de tablas	xii
Resumen.....	xiii
Introducción	xiv
Planteamiento del problema	xvii
Objetivo general.....	xviii
Objetivos específicos.....	xix
Justificación	xx
Hipótesis.....	xxi
Antecedentes	xxii
1. Marco teórico.....	1
1.1 Antecedentes de la vivienda en México	2
1.1.1 Condominios	4
1.1.2 Agua potable (Consideraciones generales).....	5
1.1.3 Suministro de agua.....	5
1.1.4 Potabilidad	5
1.1.5 Sistema	6
1.1.6 Estimación de la demanda	6
1.2 Antecedentes de la distribución de agua potable.....	6
1.2.1 Diseño hidráulico.....	7
1.2.2 Materiales	7
1.3 Abastecimiento y distribución de agua	11
1.3.1 Requerimientos del agua potable	12
1.3.2 Evitar contaminación.....	12
1.4 Exigencias de dotación de servicios	12
1.4.1 Sistemas de abastecimiento.....	12
1.5 Dotación y consumo humano	15
1.6 Alimentaciones.....	16
1.6.1 Presión fluctuante	16

1.6.2 Presión elevada	17
1.6.3 Golpe de ariete.....	17
1.6.4 Distribuidores de agua	17
1.6.5 Red interna.....	18
1.6.6 Cálculo de la red.....	18
1.6.7 Antirretornos.....	19
1.7 Tuberías enterradas	19
1.7.1 Válvulas de interrupción	19
1.7.2 Válvulas de apertura	20
1.7.3 Válvulas de cierre	20
1.8 Reforzamiento en tubería	20
1.8.1 Tanque elevado.....	20
1.8.2 Bombeo hidroneumático	21
1.8.3 Instalación	21
1.9 Materiales, juntas y conexiones.....	21
1.9.1 Materiales	21
1.10 Accesorios	23
1.10.1 Restricciones	23
1.10.2 Tinacos.....	23
1.11 Cisterna	24
1.11.1 Condiciones de uso	24
1.12 Sistemas de control.....	25
1.13 Sensores	27
1.14 Plataformas de hardware libre.....	27
1.14.1 Clasificación del hardware libre	28
1.14.2 Plataformas de hardware libre actuales	29
1.15 Lenguajes de programación	36
1.15.1 Paradigmas de programación	36
1.15.2 Algoritmo.....	39
2. Arduino.....	42
2.1 Concepto de Arduino	43
2.2 ¿Por qué Arduino?.....	43

2.3 Hardware de Arduino	45
2.3.1 Entradas y salidas de Arduino	48
2.3.2 Alimentación	49
2.3.3 Memoria	50
2.3.4 Entrada y salida	50
2.3.5 Comunicación	51
2.3.6 Programación	52
2.3.7 Protección de sobrecarga del USB	52
2.3.8 Características físicas.....	52
2.3.9 Shields de Arduino	52
2.4 El software de Arduino IDE (Integrated Development Environment)	58
2.5 Lenguaje de programación de Arduino.....	58
2.5.1 Estructura de un sketch.....	59
2.5.2 Funciones en Arduino.....	60
2.5.3 Variables en Arduino	61
2.5.4 Tipos de datos en Arduino	61
2.5.5 Comunicación serial con Arduino.....	63
2.6 Prueba del circuito con Arduino.....	64
3. Sensores	66
3.1 Concepto	67
3.1.1 Características estáticas y dinámicas	69
3.2 Clasificación.....	70
3.3 Tipos de sensores	71
3.3.1 Sensores de longitud	71
3.3.2 Sensores de temperatura.....	72
3.3.3 Sensores de flujo y/o caudal	73
3.3.4 Sensores de presión	94
3.3.5 Sensor capacitivo.....	108
3.3.6 Sensor inductivo.....	108
3.4 Típicas señales de salida de los sensores.....	108
3.5 Sensores binarios y analógicos.....	110
3.5.1 Sensores binarios	110

3.5.2 Sensores analógicos	110
3.6 Acondicionamiento de las señales	111
3.6.1 Interconectándose con un microprocesador	111
3.6.2 Procesos del acondicionamiento de señales.....	112
3.7 Señales digitales	113
3.7.1 Conversión de señales analógicas a digitales.....	113
3.7.2 Conversión de señales digitales a analógicas.....	114
3.8 Adquisición de datos	114
3.9 Materiales y precios para el desarrollo del prototipo.....	115
4. Prototipo	118
4.1 Concepto del prototipo	119
4.2 Objetivo del desarrollo del prototipo.....	120
4.3 Sistema de control.....	120
4.4 Creación de tecnología propia	121
4.4.1 Metodología de construcción del prototipo	122
4.4.2 Metodología de software.....	136
4.5 Bombas, sensor de flujo, pantalla LCD y Arduino	137
Conclusiones	138
Anexo 1. Descarga e instalación del entorno Arduino	140
Anexo 2. Código de Arduino.....	146
Bibliografía	149

Índice de figuras

Imagen 1-1. Fuente: La vivienda “social” en México. Javier Sánchez Corral	3
Imagen 1-2. Algunas piezas especiales implementadas en tuberías para conexiones de agua dentro de hogares.....	9
Imagen 1-3. Algunas piezas especiales implementadas en tuberías para conexiones de agua dentro de hogares.....	9
Imagen 1-4. Válvula Check	10
Imagen 1-5. Funcionamiento de una electroválvula.....	11
Imagen 1-6. Sistema de abastecimiento directo.....	13
Imagen 1-7. Sistema de abastecimiento por gravedad.....	14
Imagen 1-8. Sistema de abastecimiento por presión	15
Imagen 1-9. Vista superior de una placa de hardware libre URSP.....	30
Imagen 1-10. Placa de hardware libre OpenSPARC	30
Imagen 1-11. Placa de hardware libre Arduino	31
Imagen 1-12. Placa de video de código abierto OGP	32
Imagen 1-13. Servidores de hardware libre Open Compute Project.....	33
Imagen 1-14. Placa de hardware libre Raspberry Pi	34
Imagen 1-15. Impresora de hardware libre RepRap.....	34
Imagen 1-16. Placa de hardware libre Netduino	35
Imagen 1-17. División dentro de los paradigmas de la programación.	37
Imagen 1-18. Esquema para desarrollar un algoritmo	39
Imagen 1-19. Algoritmo como sistema de información.....	40
Imagen 1-20. Elementos para construir un diagrama de flujo	41
Imagen 2-1. Primeros diseños de la placa Arduino.....	45
Imagen 2-2. Componentes de Arduino	47
Imagen 2-3. Shields de Arduino	53
Imagen 2-4. Forma de un shield de Arduino.....	53
Imagen 2-5. Vista superior de Ethernet Shield	54
Imagen 2-6. Vista inferior de Ethernet Shield.....	54
Imagen 2-7. Vista superior del Wifi Shield	54
Imagen 2-8. Vista inferior del Wifi Shield.....	54
Imagen 2-10. Vista inferior del GSM Shield	55
Imagen 2-9. Vista superior del GSM Shield.....	55
Imagen 2-11 Vista inferior del Motor Shield.....	55
Imagen 2-12. Vista superior del Motor Shield	55
Imagen 2-14. Vista inferior del Grove Shield	56
Imagen 2-13. Vista superior del Grove Shield.....	56
Imagen 2-16. Vista inferior del Relay Shield	56
Imagen 2-15. Vista superior del Relay Shield.....	56
Imagen 2-17. Vista superior del Bluetooth Shield	57

Imagen 2-18. Puerto COM3 donde se conecta Arduino	63
Imagen 3-1. Transductor de desplazamiento eléctrico.....	71
Imagen 3-2. Transductor de desplazamiento óptico.	72
Imagen 3-3. Sensor de temperatura.	72
Imagen 3-4. Sensor de velocidad de flujo tipo turbina.	75
Imagen 3-5. Sensor electromagnético de flujo de agua	76
Imagen 3-6. Sensor de efecto Hall de tipo Umbral	77
Imagen 3-7. Sensor de efecto Hall de tipo lineal	77
Imagen 3-9. Álabes dentro del sensor	79
Imagen 3-8. Sensor de caudalímetro tipo turbina	79
Imagen 3-10. Sensor de medición Vortex	81
Imagen 3-11. Medidor de caudal por ultrasonidos.....	82
Imagen 3-12. Medidor másico térmico.....	84
Imagen 3-13. Representación del medidor Coriolis y velocidad del flujo en el extremo de la entrada del sensor.	85
Imagen 3-14. Medidor de flujo de tipo diferencial	86
Imagen 3-15. Tubo Venturi	87
Imagen 3-16. Tobera de flujo	88
Imagen 3-17. Tubo Pitot.....	89
Imagen 3-18. Placa metálica de orificio.	90
Imagen 3-19. Placa de orificios segmentada.....	91
Imagen 3-20. Partes de un Rotámetro.....	93
Imagen 3-21. Rotámetro	93
Imagen 3-22. Tubo Annubar	94
Imagen 3-23. Presión estática y de estancamiento	95
Imagen 3-24. Desplazamiento de un sensor con la presión.	96
Imagen 3-25. Diferentes tipos de tubos de Bourdon.....	97
Imagen 3-26. Fuelle.....	98
Imagen 3-27. Diafragma.....	99
Imagen 3-28. Partes de un manómetro.	101
Imagen 3-29. Transductor resistivo	102
Imagen 3-30. Transductor extensométrico.....	103
Imagen 3-31. Transductor magnético por transformador diferencial	104
Imagen 3-32. Transductor capacitivo.....	105
Imagen 3-33. Transductor Piezoeléctrico.	106
Imagen 3-34. Conversión de señales analógicas a digitales.....	113
Imagen 3-35. Conversión de señal digital a analógica	114
Imagen 4-1. Pantalla LCD	123
Imagen 4-2.Potenciómetro	123
Imagen 4-3. Conexión Arduino-LCD-Potenciómetro.....	124
Imagen 4-4. Sensor de flujo modelo YF-S201	125
Imagen 4-5. Conexión Arduino – Sensor de Flujo	126

Imagen 4-6. Relevador	127
Imagen 4-7. Bomba de agua de la marca “easy”	128
Imagen 4-8. Conexión Arduino – Relés- Bombas	129
Imagen 4-9. Esquema eléctrico de la conexión general del prototipo	129
Imagen 4-10. Conexión física y lógica de los dispositivos electrónicos.	130
Imagen 4-11. Funcionamiento de la pantalla LCD.	130
Imagen 4-12. Vista trasera del prototipo.	131
Imagen 4-13. Vista frontal de la conexión de las bombas de agua.....	131
Imagen 4-14. Vista superior de la conexión de las bombas de agua.	132
Imagen 4-15. Conexión de bombas de agua.....	132
Imagen 4-16. Prototipo de un sistema automático de distribución de agua.....	133
Imagen 4-17. Vista frontal del prototipo de un sistema automático de distribución de agua.....	134
Imagen 4-18. Algoritmo de funcionamiento	136

Índice de tablas

Tabla 1-1. Consumo de agua potable de habitante por tipo de vivienda.....	6
Tabla 1-2. Consumo de agua por tipo de vivienda.....	15
Tabla 1-3. Clasificación de climas por temperatura.....	16
Tabla 1-4. Litros por segundo que pasan dentro de una tubería según su diámetro.....	18
Tabla 2-1. Descripción de las diferentes versiones de la placa Arduino	46
Tabla 2-2. Características de Arduino UNO.....	48
Tabla 3-1. Clasificación de los sensores	71
Tabla 3-2. Volumen de agua por unidad de tiempo.....	73
Tabla 3-3. Características del sensor de flujo de caudalímetro tipo turbina	80
Tabla 3-4. Diferentes tipos de medición de presión.	100
Tabla 3-5. Ventajas y desventajas de un transductor resistivo.....	102
Tabla 3-6. Ventajas y desventajas de un transductor magnético por transformador diferencial ..	104
Tabla 3-7. Ventajas y desventajas de un transductor capacitivo.....	105
Tabla 3-8. Ventajas y desventajas de un Transductor Piezoeléctrico.	107
Tabla 3-9. Precio de componentes eléctricos	116
Tabla 3-10. Precio de componentes no eléctricos.	116

Resumen

En el presente trabajo se describe el análisis, el diseño, el desarrollo y la implementación de un sensor de flujo de agua (sensor de efecto Hall¹), relevadores² y una pantalla LCD, para la automatización de un sistema de bombeo de agua potable en Unidades Habitacionales, utilizando como base para el proyecto un software y hardware libre: Arduino.

El trabajo está dividido en 4 capítulos en donde se irá describiendo desde los diferentes tipos de distribución de agua en Unidades Habitacionales, la plataforma de software y hardware libre que se utilizó, diferentes tipos de sensores que pueden ayudar en la automatización de sistemas de bombeo y el completo desarrollo del prototipo utilizado; concluyendo con un exitoso resultado de la ejecución de nuestro prototipo.

El desarrollo de este trabajo busca facilitar el estilo de vida de los habitantes de Unidades Habitacionales, esto, mediante la automatización de su sistema de bombeo de agua potable.

¹ (Edwin C. Hall, 1879) Señala que el efecto Hall consiste en la producción de una caída de voltaje a través de un conductor o semiconductor con corriente, bajo la influencia de un campo magnético externo.

² (Sánchez Cruz Daniel, 2008) Menciona que un relevador es un dispositivo electromagnético que permite que la corriente llegue en su totalidad a uno a más dispositivos utilizando cables más cortos para evitar caídas de tensión y separe las secciones de control y de potencia.

Introducción

El agua es uno de los elementos naturales que se encuentran en mayor cantidad en el planeta Tierra. Del mismo modo que sucede con el oxígeno, el agua es esencial para que el humano y todas las formas de vida conocidas puedan existir. Los avances técnicos y tecnológicos le permitieron al hombre transportar y almacenar el agua, así como extraerla del subsuelo, por lo cual los asentamientos humanos iniciaron su esparcimiento lejos de los ríos y de otras fuentes superficiales de agua.

Actualmente, su uso en las poblaciones es diverso, pues sirve para consumo humano, en el aseo personal, y en actividades como la limpieza doméstica y en la cocción de alimentos. Además, se usa para fines comerciales, públicos e industriales; por otra parte, es un elemento esencial en la irrigación de cultivos, la generación de energía eléctrica, la navegación e incluso para fines recreativos.

De la misma forma que ha evolucionado el uso del agua a lo largo del tiempo, lo ha hecho el término “abastecimiento de agua”, que en nuestros días conlleva el proveer a las comunidades urbanas y rurales de un volumen suficiente de agua, con una calidad requerida y a una presión adecuada para abastecer los depósitos y evitar las sobrepresiones que dañan las instalaciones para su tratamiento y distribución.

Para abastecer de agua a una población se requiere de instalaciones que permitan captar, purificar, almacenar y finalmente distribuir el agua en las poblaciones. Las instalaciones que se encargan de distribuir el agua a los usuarios son los sistemas de distribución de agua comúnmente llamados “redes de distribución³”.

Se pretende con este trabajo abordar dos de los temas más relativos de acuerdo a la distribución de agua, como son, en primer lugar, los pertenecientes al flujo de fluidos en las tuberías; para posteriormente resolver un problema constante dentro de la Unidad Habitacional El Encino, que es la distribución del vital líquido.

Este proyecto terminal se compone por un total de 4 capítulos.

³ Una red de distribución es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta la toma domiciliaria.

En el primer capítulo se abordan antecedentes históricos acerca de la creación de un nuevo modelo de vivienda en México, las Unidades Habitacionales, y los antecedentes de la distribución de agua; así como todos los requerimientos, materiales y tipos de sistema que se pueden utilizar para realizar una instalación de una red de distribución de agua potable dentro de una Unidad Habitacional.

El segundo capítulo trata de manera muy detallada el uso de la herramienta de hardware libre que se utilizó para el desarrollo de este trabajo de tesis, Arduino.

El tercer capítulo estudia a fondo qué es un sensor, como se clasifica, sus funciones, y la forma en la que interactúa con un microcontrolador; todo esto, haciendo énfasis en dos tipos de sensores que se pueden implementar en un sistema automático de bombeo de distribución de agua, el primero, un sensor dedicado a la medición de presión dentro de las tuberías, mientras el segundo, mide el flujo de agua. Finalizando éste tercer capítulo con un presupuesto del prototipo realizado y al estimación del costo real si se implementara algún diseño de sistema de distribución de agua fabricado por alguna empresa.

Finalmente el cuarto capítulo explica de forma detallada como se construyó el prototipo de un sistema de distribución de agua que se pretende implementar dentro de las tuberías existentes dentro de la Unidad Habitacional El Encino.

Debido a que no se contó con el permiso ni con el material adecuado para trabajar directamente con las bombas, resulta imposible implementar dispositivos y experimentar directamente con el sistema de bombeo de agua potable que se encuentran dentro de la Unidad Habitacional El Encino. Por lo tanto, se desarrollará un prototipo más pequeño tratando de emular el funcionamiento de las bombas de la Unidad Habitacional El Encino, con el fin de poder hacer todas las pruebas necesarias; gracias a toda esta experimentación se podrá observar todo tipo de resultados hasta alcanzar el esperado y así poder plantear una posible solución al problema que se encuentra dentro de esta comunidad habitacional.

La creación de este prototipo se realizará con el fin de automatizar el sistema de bombeo dentro de las Unidades Habitacionales; gracias a esto, se podrá ahorrar tiempo y responsabilidad de la persona encargada de realizar las tareas de encender, apagar y monitorear la presión de las bombas. Esto facilitará mucho el día a día de todos los habitantes de dichas comunidades ya que no tendrán que preocuparse más por asignar a

personas responsables para estas tareas y también evitará futuros problemas que son muy habituales porque nadie quiere tal responsabilidad.

Uno de los propósitos de escribir este trabajo de tesis es que sea útil como base de desarrollo de tecnologías de hardware y software libre aplicables a la vida cotidiana de cualquier persona, y que continuamente se continúen agregando nuevas ideas de implementación en sistemas de distribución de agua. De esta forma los ingenieros dedicados a diseñar, construir y operar los sistemas modernos de abastecimiento de agua tendrán una herramienta para aprender más acerca de ellos y podrán disponer cada vez de mejor tecnología para la mejora de estos sistemas con el único fin del bien de la sociedad.

Planteamiento del problema

El presente trabajo pretende aportar una solución viable a la problemática detectada en la Unidad Habitacional “El Encino”. El problema surge a partir de que hoy en día el sistema de bombeo de agua dentro de la Unidad Habitacional es obsoleto, no se tiene un control “automatizado” sobre él. El sistema de bombeo de agua potable consta de 3 bombas las cuales se tienen que encender y apagar manualmente, además se corre el riesgo de que la presión de agua dentro de las tuberías sea muy alta y por lo tanto estas puedan explotar, esto debido a que el sistema no está “automatizado” y por lo tanto no se puede monitorear con minuciosidad la presión de agua dentro del sistema de bombeo de la Unidad Habitacional “El Encino”.

Objetivo general

Diseñar y desarrollar un sistema de control de presión de flujo de agua y encendido/apagado dentro de la red de bombeo de la Unidad Habitacional “El Encino” con el uso de hardware y software libre.

Objetivos específicos

- I. Diseñar hardware necesario para el control del sistema de bombeo de la Unidad Habitacional “El Encino”.
- II. Diseñar un software para el óptimo funcionamiento del hardware construido para poder tener el control de la presión dentro de las tuberías, como del accionar de las bombas de agua.
- III. Realizar una selección adecuada de los materiales más convenientes a emplear para generar una propuesta de construcción.

Justificación

La adquisición de un nuevo sistema de bombeo para la Unidad Habitacional “El Encino” es de un precio muy elevado, por tal motivo se pretende diseñar un sistema automatizado sin adquirir un nuevo sistema de bombeo, esto solo con la ayuda de un sensor de presión y un software que se implementará sobre el sistema de bombeo existente, con esto, se pretende tener un control total automatizado sobre el sistema de bombeo y así poder dar solución a la problemática de la distribución de agua dentro de la comunidad.

Con este nuevo sistema automatizado del equipo de bombeo se beneficia directamente a los habitantes de la Unidad Habitacional “El Encino”, debido a que el precio del material a utilizar es relativamente de bajo costo en comparación de un nuevo equipo de bombeo.

Hipótesis

Verificando la funcionalidad del sistema de bombeo de agua potable dentro de la Unidad Habitacional “El Encino”, resulta posible mejorar la infraestructura sin realizar grandes cambios a esta, debido a que es factible diseñar un sistema de control para la presión de flujo de agua dentro de la misma tubería así como la automatización de las bombas de agua del sistema de bombeo con el uso de hardware y software libre.

Antecedentes

La vivienda “social” en México

La ciudad que habitamos es el laboratorio donde arquitectos y urbanistas han experimentado mediante la construcción física de ideas que, más o menos pensadas y estudiadas, no han tenido un factor muy alto de reversibilidad. Así, capa sobre capa se han ido haciendo y rehaciendo las ciudades. Numerosas son las disciplinas que han interactuado en la formación, desarrollo y evolución de éstas. La ciudad, por tanto, es un elemento vivo reflejo de sociedad que lo habita.

En Europa el 80 % de la población vive en ciudades; en Latinoamérica, el 70 %. La diferencia radica en la elevada tasa de crecimiento de esta última y en su inequidad entre las clases sociales que se acentúa progresivamente, siendo la más diferenciada del mundo según el informe de la Cepal 2012. Sin embargo, el trabajo de los especialistas del diseño y la construcción tan sólo está dirigido al 10 % de la población mundial. Esto quiere decir que el otro 90 % está fuera del campo de actuación de los profesionales y, por lo tanto, se ha desarrollado sin control y con malas condiciones de habitabilidad.

La vivienda y sus condiciones precarias son actualmente uno de los problemas más graves de las ciudades latinoamericanas. La gran demanda y los pocos recursos de la población para satisfacer sus condiciones básicas hacen que estos últimos necesiten de ayuda del gobierno para emprender la construcción o el mejoramiento de sus viviendas. El problema de la vivienda no debe de analizarse de manera aislada, son muchos los factores que intervienen en su desarrollo y evolución, por lo tanto, el estudio debe de ser multidisciplinario. Además este problema no se puede comprender sin antes tener un panorama global y particular de cómo han crecido las ciudades y cuáles han sido los factores involucrados.

En la Europa del siglo XIX apareció la preocupación por las condiciones de habitabilidad provocadas por la Revolución Industrial. El movimiento migratorio del campo a la ciudad llevó a estas últimas a aumentar rápidamente su población, teniendo como consecuencia el hacinamiento⁴ y las malas condiciones de salubridad. Desde la política y la ética surgieron

⁴ Hace referencia a un estado de cosas lamentable que se caracteriza por el amontonamiento o acumulación de individuos en un mismo lugar, el cual no se haya preparado físicamente para albergarlos.

las primeras intenciones de solucionar estos problemas, que afectaban a las clases más bajas, y aparecieron las primeras normativas urbanísticas que regularon acciones tanto habitacionales como urbanas, cuyo principal objetivo era conseguir un mejoramiento de las condiciones higiénicas.

Fueron varios los arquitectos que dedicaron parte de su obra al estudio y búsqueda de soluciones para una vivienda enfocada a la clase social más baja, cuyos requerimientos eran limitados. Así nacieron proyectos de unidades habitacionales en los que se experimentaron los conceptos de esta nueva arquitectura dirigida a un cliente con características diferentes. La vivienda social estaba destinada a satisfacer las necesidades básicas de habitabilidad de las clases sociales con menos recursos. El pensamiento funcionalista llegó a reducir el concepto de “vivienda social” a “vivienda mínima”, y por lo tanto, a “vivienda barata”, lo cual implicó una reducción de la calidad de espacio y los materiales, bajando la calidad de las condiciones de habitabilidad.

En Latinoamérica el motivo de crecimiento de las grandes ciudades ha sido muy parecido, más no desde el punto de vista espacial y geográfico. En el caso de México la industrialización se produjo en los años 30; durante la década siguiente las principales ciudades del país sufrieron consecuencias muy parecidas a las del resto de Latinoamérica. La población rural se desplazó a las ciudades y el crecimiento demográfico de la Ciudad de México se disparó hasta duplicarse.

La demanda habitacional creció y los primeros nuevos pobladores comenzaron a instalarse en las vecindades de la zona céntrica de la ciudad. Más tarde, debido a los cambios de gestiones en las rentas, parte de la población que pudo permitírselo comenzó a comprar terrenos en la periferia, desarrollando fraccionamientos populares. Tras la prohibición del gobierno local de la construcción y urbanización de nuevos terrenos, lejos de regular el crecimiento de la ciudad, provocó la ocupación ilegal del territorio mediante asentamientos irregulares, algunos promovidos por antiguos fraccionadores o líderes locales. Actualmente, la población que vive en estas “colonias populares” es el 65 % de la ciudad.

Este mismo fenómeno es el que ha llevado a las principales ciudades latinoamericanas a tener carencia de vivienda y exceso de población de escasos recursos como demandantes de ésta. En países como Chile, Brasil o Colombia también llevan años de implementación de programas gubernamentales de vivienda social que trabajan en la mejora de sus condiciones.

Otras consecuencias, como la degradación del medio ambiente y la inequidad, exclusión y agudización de la pobreza, son relevantes a la hora de un análisis profundo del proceso del crecimiento de las grandes ciudades latinoamericanas.

En México, el problema de la vivienda es causado por varios factores además del desmedido demográfico, como son la migración descontrolada, el ineficaz sistema financiero, la inadecuada legislación y el deficiente sistema administrativo.

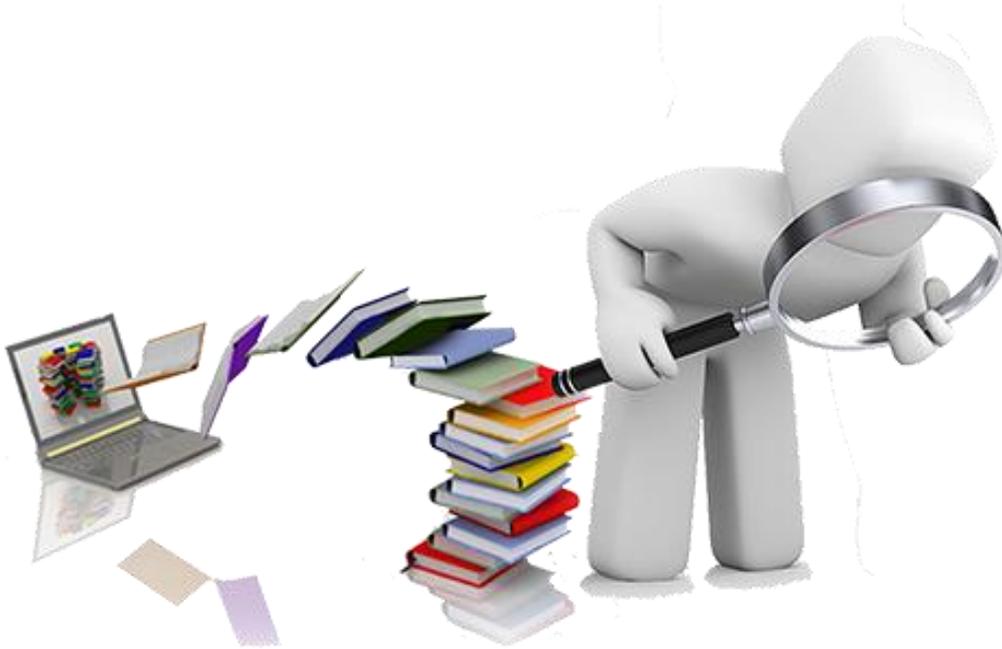
Distribución de agua

El agua es un elemento fundamental para la vida y desde siempre ha estado ligada directamente al desarrollo, abundancia, progreso, estabilidad y bienestar del ser humano, e incluso en algunas culturas se le han atribuido dones curativos y hasta se le ha rendido culto como una deidad, es por ello que desde los orígenes de la historia, el hombre siempre ha buscado la forma de mantenerse cerca de este vital líquido.

Antiguamente al no contar con una tecnología apropiada para la explotación o transporte del agua, las primeras grandes civilizaciones conocidas, buscaron la manera de permanecer lo más cercano posible a ella asentándose a lo largo de los márgenes de los grandes ríos, formando poblados y paulatinamente grandes ciudades.

Poco a poco, los avances tecnológicos permitieron al hombre descubrir formas para transportar, almacenar y extraer el agua del subsuelo. De esta forma los asentamientos humanos fueron desplazándose poco a poco al interior de los continentes y un tanto lejos de los ríos y otras fuentes superficiales e inmediatas de agua. Así surgió la necesidad de conducir el agua de lugares apartados. Las grandes ventajas de tener agua donde se necesita justifican los trabajos para captarla y conducirla. El conjunto de las diversas obras que tienen por objeto suministrar agua a una población en cantidad suficiente, calidad adecuada, presión necesaria y en forma continua constituye un sistema de abastecimiento de agua potable. (Cesar, 2007)

1. Marco teórico



En este primer capítulo se le da al lector conocimiento acerca del tema de este trabajo, iniciando desde los antecedentes de la vivienda habitacional en México y de la distribución de agua potable, llegando a la vivienda y a los sistemas de distribución de agua actuales; así como de los requerimientos para instalar un sistema de bombeo óptimo, el cual requiere de diferentes instrumentos de medición.

El presente capítulo ayuda a entender de forma sencilla y clara las definiciones de los elementos que componen un sistema de control de bombeo de agua potable dentro de una Unidad Habitacional.

1.1 Antecedentes de la vivienda en México

La vivienda y sus condiciones precarias son actualmente uno de los problemas más graves de las ciudades latinoamericanas. La gran demanda y los pocos recursos de la población para satisfacer sus condiciones básicas hacen que estos últimos necesiten de ayuda del gobierno para emprender la construcción o el mejoramiento de sus viviendas.

La vivienda es uno de los bienes más importantes en las necesidades del ser humano, que toma gran relevancia en el desarrollo, y se convierte en un espacio de seguridad y privacidad.

El derecho a la vivienda tiene en nuestro país profundas raíces históricas, la Constitución de 1917, en su artículo 123, fracción XII, estableció la obligación de los patrones de proporcionar a sus trabajadores viviendas cómodas e higiénicas.

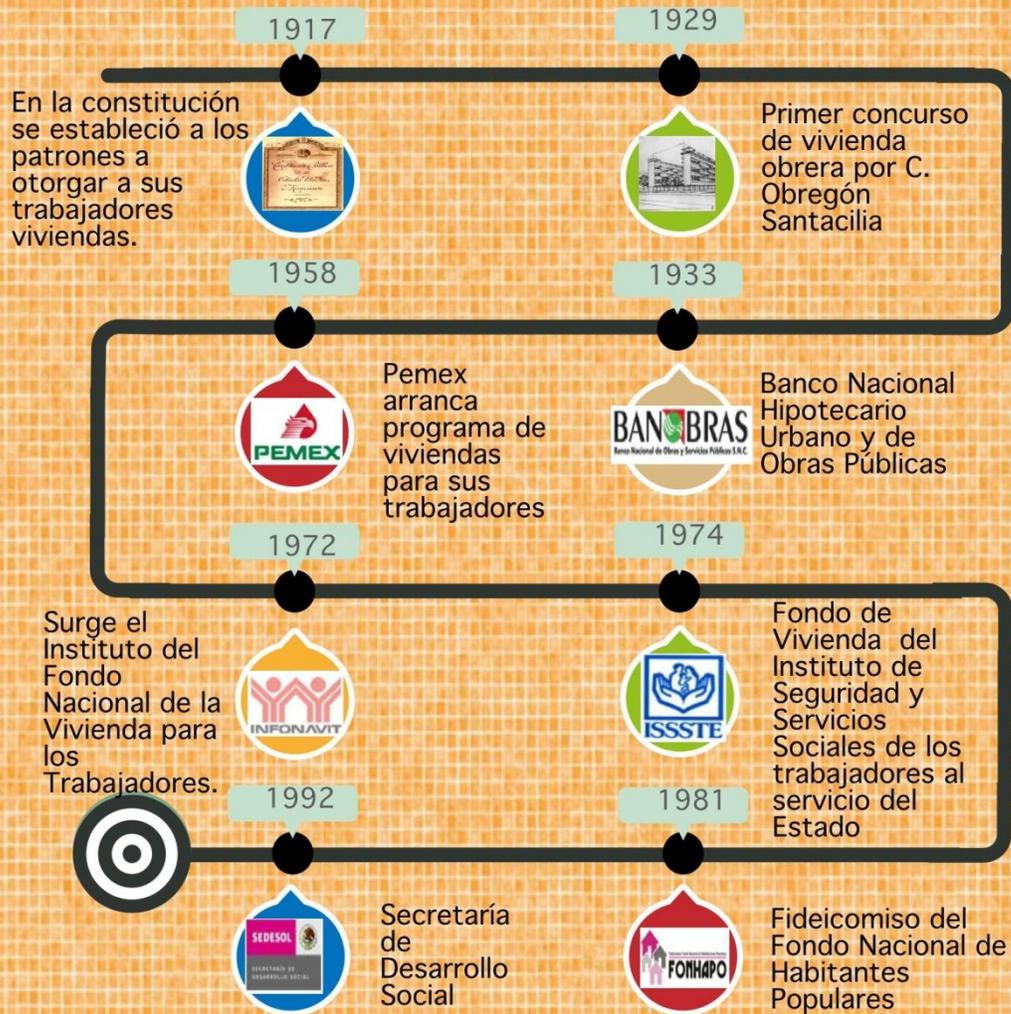
En 1954 se decretó la primera ley condominal: la Ley Sobre el Régimen de Propiedad y Condominio de los edificios Divididos en Pisos, Departamentos, Viviendas o Locales, también se fundó el Instituto Nacional de Vivienda (INVI), que tenía como objetivo el “atender las necesidades habitacionales de los estratos sociales económicamente débiles”.

En febrero de 1972 se obligó a los patrones, a través de una reforma constitucional, a que mediante aportaciones se constituyera el Fondo Nacional de la Vivienda y con ello establecer un sistema de financiamiento de otorgamiento de crédito barato y suficiente para adquirir una vivienda. Esto originó al Instituto de Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT).

Por lo tanto, podemos definir a una Unidad Habitacional como proyectos de vivienda construidos por organismos del sector público, la mayoría se localizan en el anillo intermedio y en la periferia del área metropolitana. La mayoría son bloques de apartamentos multifamiliares o de casas en hilera. Los estándares de la construcción y de los servicios domiciliarios y comunitarios son frecuentemente altos.

HISTORIA DE LA CONSTRUCCIÓN

1917-2016



*resources

Imagen 1-1. Fuente: La vivienda "social" en México. Javier Sánchez Corral

1.1.1 Condominios

Forma de propiedad en la que diferentes departamentos, viviendas, casa o locales de un inmueble, contruidos en forma vertical, horizontal o mixta, susceptibles de aprovechamiento independiente por tener salida propia a un elemento común de aquél o a la vía pública, pertenecen a distintos propietarios en forma singular y exclusiva, los cuales además tienen derecho de copropiedad sobre los elementos y partes comunes del inmueble.

I. Condominio vertical.

La modalidad en la cual cada condominio es propietario exclusivo de un departamento, vivienda o local de un edificio, compartiendo muros, losas y techos y además es propietario en parte proporcional de sus elementos estructurales o partes comunes, así como del terreno e instalaciones de uso general.

II. Condominio horizontal

La modalidad en la cual cada condominio es propietario exclusivo de un área privativa de terreno y en este caso, tal propietario lo será también de la edificación que se construya sobre el mismo, a la vez que es propietario en parte proporcional de las áreas, servicios, instalaciones y edificaciones de uso común.

III. Condominio mixto

La combinación en un mismo predio de las modalidades de condominio vertical y horizontal.

1.1.2 Agua potable (Consideraciones generales)

Los proyectos ejecutivos del suministro de agua potable, deben realizarse conforme a la normatividad establecida por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Deben elaborarse bajo la acción coordinada del proyectista, la empresa a cargo de la ejecución y las áreas técnicas de la autoridad federal, estatal y municipal competente en la localidad.

1.1.3 Suministro de agua

La sección de la fuente de suministro de agua potable, en cuanto a tipo, destino, calidad, y volumen de abasto, debe ser aprobada por la autoridad competente. El suministro de agua potable debe realizarse en el siguiente orden: captación, conducción, almacenamiento regulado, red de distribución y toma domiciliaria. De acuerdo con las características del sitio del proyecto el agua puede ser conducida por bombeo (red, manantial o pozo), o bien por gravedad (manantial o presa). El tanque de regularización se debe localizar preferentemente, en una zona aledaña a la localidad, para que el agua sea conducida a la red por gravedad.

1.1.4 Potabilidad

El agua suministrada se debe desinfectar mediante clorinación cuando la fuente sea un pozo y mediante una planta clarificadora potabilizadora con desinfección terminal cuando el agua provenga de un río, lago o presa. Ambos métodos deben ser aprobados por la autoridad competente. La desinfección (cloración) se debe aplicar en la entrada del tanque de regularización. Cuando las condiciones así lo permitan, se puede bombear el agua directamente a la red con desvío y acumulación de las excedencias al tanque de regularización.

El agua debe cumplir los límites permisibles de calidad del agua para consumo humano que establece la NOM-127-SSA1-1994.

1.1.5 Sistema

Los sistemas de agua potable deben incluir el proyecto de obra civil, trazo, excavación, cama, atraques, registros y cajas de válvulas, entre otros, el electromecánico (tuberías, equipos de bombeo, válvulas, piezas especiales), el de electrificación y el de alumbrado en las áreas de operación de sus equipos.

1.1.6 Estimación de la demanda

La dotación de agua potable se determina de acuerdo con el número de habitantes servidos, la ubicación geográfica, tipo de vivienda y los demás usos; tales como: equipamiento, áreas verdes, comercio y servicios. Las zonas que no dispongan de indicadores para calcular la demanda de agua potable, deben adoptar los valores medidos en la tabla 1-1.

Tipo de clima	Dotación por tipo de vivienda Ltrs/persona/día		
	Residencial	Media	Popular
Cálido	400	230	185
Semicálido	300	205	130
Templado	250	195	100
Frío y semifrío	250	195	100

Tabla 1-1. Consumo de agua potable de habitante por tipo de vivienda

1.2 Antecedentes de la distribución de agua potable

El agua es un elemento fundamental para la vida y desde siempre ha estado ligada directamente al desarrollo, abundancia, progreso, estabilidad y bienestar del ser humano, e incluso en algunas culturas se le han atribuido dones curativos y hasta se le ha rendido culto como una deidad, es por ello que desde los orígenes de la historia, el hombre siempre ha buscado la forma de mantenerse cerca de este vital líquido.

Antiguamente al no contar con una tecnología apropiada para la explotación o transporte del agua, las primeras grandes civilizaciones conocidas, buscaron la manera de permanecer lo más cercano posible a ella asentándose a lo largo de los márgenes de los grandes ríos, formando poblados y paulatinamente grandes ciudades.

Poco a poco, los avances tecnológicos permitieron al hombre descubrir formas para transportar, almacenar y extraer el agua del subsuelo. De esta forma los asentamientos humanos fueron desplazándose poco a poco al interior de los continentes y un tanto lejos de los ríos y otras fuentes superficiales e inmediatas de agua. Así surgió la necesidad de conducir el agua de lugares apartados. Las grandes ventajas de tener agua donde se necesita justifican los trabajos para captarla y conducirla. El conjunto de las diversas obras que tienen por objeto suministrar agua a una población en cantidad suficiente, calidad adecuada, presión necesaria y en forma continua constituye un sistema de abastecimiento de agua potable. (Cesar, 2007)

1.2.1 Diseño hidráulico

El diseño hidráulico, que determina las características físicas de todos y cada uno de los elementos del sistema, debe considerar los siguientes aspectos.

I. Población

Se deben aplicar los criterios de la sección 1.1.6 de agua potable.

II. Demanda

La demanda utilizada en el diseño del abastecimiento de agua potable se debe utilizar para determinar el gasto de aguas residuales. En la práctica a reserva de lo que dictamine la autoridad competente, se debe considerar del 75 % al 80 % de la demanda de agua potable para calcular el gasto promedio de las aguas residuales.

1.2.2 Materiales

Los tipos y especificaciones de los materiales que componen el diseño geométrico e hidráulico son los siguientes:

1.2.2.1 Tuberías

El material de la tubería está determinado por factores como la resistencia mecánica y a la corrosión, durabilidad, capacidad de conducción, facilidad de manejo y de instalación, así como de mantenimiento y reparación.

I. Concreto simple con junta hermética (CS)

Fabricada de acuerdo con las especificaciones de la norma mexicana NMX-C 401-1996 ONNCCE, en la que se detalla la calidad de los materiales. En las juntas de las tuberías de concreto debe utilizarse anillos de hule de acuerdo con la misma norma.

II. Concreto reforzado con junta hermética (CR)

Fabricada de acuerdo con las especificaciones de la norma mexicana NMX-C 402-1996 ONNCCE, a diferencia del concreto simple, el núcleo de este tubo contiene acero de refuerzo longitudinal y transversal, se fabrican en cuatro tipos de grados y cada uno de ellos con tres espesores de pared. En las juntas de las tuberías de concreto reforzado deben utilizarse anillos de hule de acuerdo con la norma señalada.

III. Fibrocemento (FC)

Se fabrica en base a la norma NMX-C-039-1981, en clase b-6, b-7 y b-12.5, y cada una de ellas para dos tipos de anillos de hule según la norma NMX-T-021 en función del diámetro del tubo, de 15 a 90 cm, se usan anillos de hule sencillos, para coples sencillos: de 100 a 200 cm, se usan anillos de hule roscados para coples roscados.

IV. Policloruro de vinilo (PVC)

Fabricado con diámetro de 10 a 60 cm. En dos series: métrica, de acuerdo a las normas NMX-E-215/1-1994 (tubos) y NMX-E-215/2-1999 (conexiones), en los tipos 16.5, 20 y 25 e inglesa, en los tipos 35, 41 y 51. Existe también la tubería de PVC de pared estructurada con celdas longitudinales, que actualmente se fabrican en diámetros de 16 a 21.5 cm.

1.2.2.2 Piezas especiales

Se denominan piezas especiales a todos aquellos accesorios de la tubería que permiten formar cambios de dirección, ramificaciones e intersecciones, así como conexiones incluso entre tuberías de diferentes materiales y diámetros. Actualmente se dispone comercialmente de varios tipos de piezas como codos, reducciones, tapones, anillos, empaques, coples, adaptadores, bridas, etc.

En general, se dispone de piezas especiales fabricadas de diversos materiales como hierro fundido, fibrocemento, PVC, polietileno, concreto presforzado y acero. También se dispone de accesorios complementarios empleados para formar uniones como: juntas mecánicas, empaques y tornillos de acero con cabeza y tuerca hexagonal estándar.



Imagen 1-3. Algunas piezas especiales implementadas en tuberías para conexiones de agua dentro de hogares.



Imagen 1-2. Algunas piezas especiales implementadas en tuberías para conexiones de agua dentro de hogares.

1.2.2.3 Válvulas

Son accesorios o también considerados dispositivos mecánicos que se utilizan para regular el flujo en las tuberías ya sea para detener, iniciar o controlar las características del flujo en los conductos. Pueden ser accionadas manualmente, por medio automático o semiautomático. Hoy en día existe una gran variedad de válvulas que sirven para diferentes propósitos entre algunas pueden ser de compuerta, de mariposa, de altitud admisión y expulsión de aire, de presión, de retención (check), electroválvula, de vaciado (desagüe), etc.

Existen válvulas de aislamiento o seccionamiento, las cuales son utilizadas para separar o cortar el flujo del resto del sistema de abastecimiento en ciertos tramos de la tubería, bombas y dispositivos de control con el fin de revisarlos o separarlos.

De igual forma, existen válvulas de control, usadas para regular el gasto o la presión, facilitar la entrada o salida de sedimentos o aire atrapados en el sistema. En esta clasificación encontramos la válvula check.

En este trabajo se hará enfoque a las válvulas utilizadas para el proyecto que son: electroválvula y válvula de retención (check).

I. Válvulas de retención (check)

Las válvulas de retención (check) son automáticas y se emplean para evitar contraflujos (son unidireccionales), es decir, flujos en dirección contraria a la de diseño. Se instala en tuberías donde el agua contenida en la tubería puede revertir su dirección de flujo durante el par de una bomba o el fallo de energía eléctrica y dañar instalaciones hidráulicas tales como bombas y sus respectivos motores. Además impiden el vaciado de la línea.

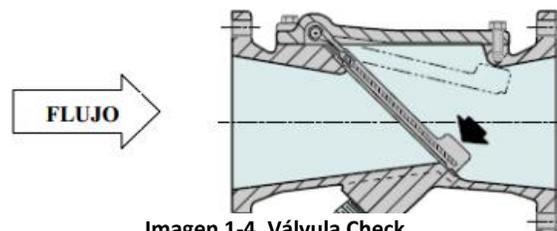


Imagen 1-4. Válvula Check

II. Electroválvula (válvula a solenoide)

En cualquier proceso actual en donde se manejen fluidos, sean líquidos, vapores o gases, una válvula a solenoide⁵ está presente como dispositivo de automatización o de seguridad. La válvula a solenoide es la combinación de dos unidades funcionales: el paquete electromagnético, compuesto por un solenoide y su correspondiente núcleo móvil, y un cuerpo de válvula conteniendo los orificios de entrada/s, pasaje/s y salida/s.



Imagen 1-5. Funcionamiento de una electroválvula

1.3 Abastecimiento y distribución de agua

Requisitos mínimos para el diseño de instalaciones de distribución de agua potable para vivienda unifamiliar y plurifamiliar, y está basado en las Normas Técnicas Complementarias de Edificación para el Distrito Federal, Estado de México y en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

⁵ Un solenoide es una bobina de material conductor cuyo funcionamiento se basa en campos electromagnéticos. Al pasar una corriente eléctrica a través de la bobina, se genera un campo electromagnético.

1.3.1 Requerimientos del agua potable

Las unidades de vivienda deben estar provistas de un suministro de agua potable en las cantidades y presiones especificadas en este capítulo. En una edificación en donde se instale un sistema de distribución de agua potable y de agua no potable, cada sistema debe estar identificado con una marca de color, un rótulo de metal o cualquier otro método apropiado. Debe ser indicada cualquier boca de salida de agua no potable que pudiera ser utilizada inadvertidamente para beber o para propósitos domésticos.

1.3.2 Evitar contaminación

El abastecimiento de agua potable debe ser diseñado y debe estar instalado de manera de evitar la contaminación de líquidos, sólidos y gases no potables que puedan introducirse dentro del abastecimiento de agua potable. No deben hacerse conexiones a un abastecimiento de agua potable que pudieran contaminar el agua, ni una conexión cruzada entre el abastecimiento y las fuentes de contaminación, a menos que se instale un dispositivo de contraflujo y una apertura atmosférica.

1.4 Exigencias de dotación de servicios

Se debe asegurar que el agua destinada para los sistemas de distribución en viviendas cumpla con la Norma Oficial Mexicana NOM-0127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Cuando la red municipal está a cargo del organismo operador este debe proporcionar los datos de caudal y presión que deben servir de base para el dimensionado de la red en la vivienda.

1.4.1 Sistemas de abastecimiento

El sistema de abastecimiento de agua es el que conduce el agua de la toma domiciliaria a los muebles de la vivienda o tinacos, y debe disponer de la cantidad necesaria de agua, con la presión adecuada y la temperatura conveniente, así como de instalaciones apropiadas para su almacenamiento y distribución. No se permite la conexión directa desde la red pública de agua, a través de bombas u otros dispositivos mecánicos de elevación.

Los sistemas de abastecimiento de agua fría, están divididos según su origen: directo, por gravedad, combinado o por presión.

I. Sistema de abastecimiento directo

La alimentación de agua fría a los muebles sanitarios de la vivienda se realiza en forma directa desde la red municipal de agua potable, sin la necesidad de instalar tinacos de almacenamiento. Para efectuar el abastecimiento de agua fría en forma directa, la presión mínima necesaria para que los muebles sanitarios trabajen eficientemente es de 0.2 kg/cm^2 . El desarrollo habitacional debe contar con una estructura de almacenamiento de agua o tanque elevado, para que funcione el sistema y estén garantizados el caudal y la presión.

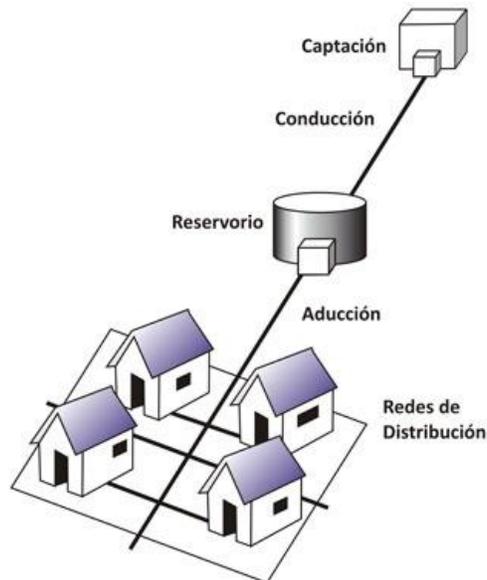


Imagen 1-6. Sistema de abastecimiento directo

II. Sistema de abastecimiento por gravedad

En este sistema, la distribución del agua fría se realiza a partir de tinacos localizados en las azoteas de las viviendas. Cuando la distribución del agua fría es por gravedad es necesario que el fondo del tinaco esté como mínimo a 2 m sobre la salida del mueble sanitario más alto, ya que la presión que se genera es de 0.2 kg/cm^2 ; esta presión es la mínima requerida para un funcionamiento eficiente de los muebles domésticos de la última planta. En el caso de calentadores de paso, será necesaria

mayor presión y debe verificarse con las características del calentador. Este sistema tiene la ventaja de que la bomba trabaja pocas veces al día, lo que garantiza su durabilidad.

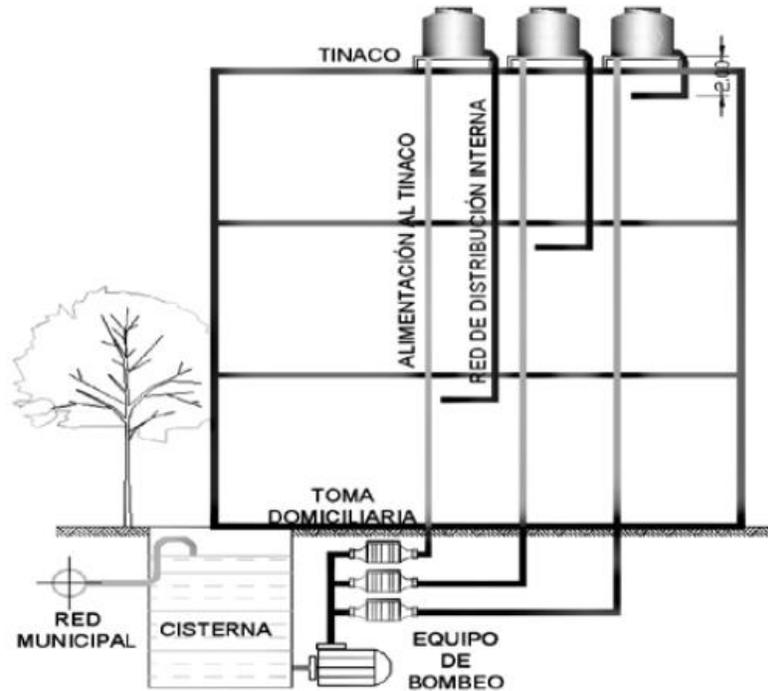


Imagen 1-7. Sistema de abastecimiento por gravedad.

III. Sistema de abastecimiento por presión

Este tipo de sistema es más complejo ya que el equipo que se utiliza para bombear el agua depende de las características de la edificación, tipo de servicio, volumen de agua requerido, presiones, número de niveles, y características de los muebles. Es una variante de las propuestas anteriores y con este sistema los tinacos dejan de tener utilidad. Actualmente es de uso generalizado, incluso en vivienda unifamiliar, por su garantía de presión y caudal, su inconveniente estriba en que la bomba arranca muchas veces en las horas de máxima demanda, lo que limita la durabilidad del equipo.

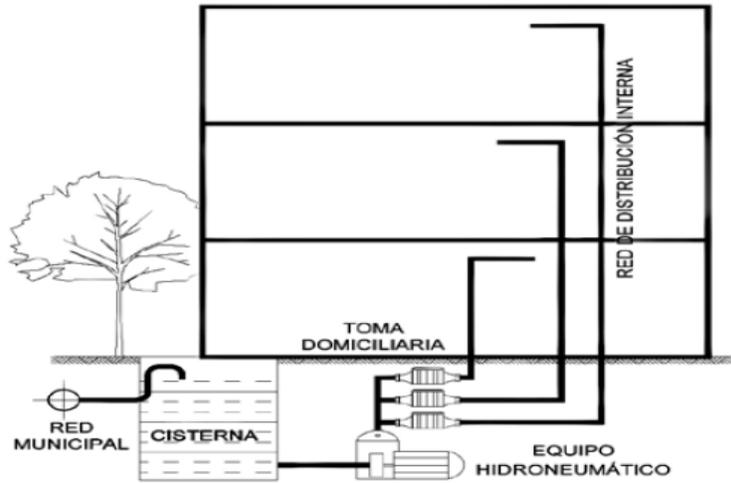


Imagen 1-8. Sistema de abastecimiento por presión

1.5 Dotación y consumo humano

La dotación es la cantidad de agua que consume en promedio una persona durante el día. En caso de viviendas unifamiliares y plurifamiliares el consumo se considera tomando en cuenta el número de habitantes por vivienda que marque el INEGI. La dotación mínima la designa el organismo operador. En caso de no contar con esta información se debe consultar el Manual de Diseño de Agua Potable de la CONAGUA, el cual proporciona los valores en la tabla 1-2. A dotación diaria por persona para consumo doméstico, por tipo de vivienda y clima. El clima se selecciona en función de la temperatura media anual considerando la tabla 1-3. Clasificación de climas por temperatura.

Clima	Dotación en l/pp/día por tipo de vivienda		
	V3 más de 150 m2	V2 100-149 m2	V1 Hasta 99 m2
Cálido	400	230	185
Semicálido	300	205	150
Templado	250	195	150
Frío y Semifrío	250	195	150

Tabla 1-2. Consumo de agua por tipo de vivienda

Temperatura media anual en °C	Tipo de clima
Mayor de 22	Cálido
De 18 a 22	Semicálido
De 12 a 17.9	Templado
De 5 a 11.9	Semifrío
Menor que 5	Frío

Tabla 1-3. Clasificación de climas por temperatura

1.6 Alimentaciones

La dimensión mínima de la tubería de alimentación para muebles y accesorios de salida y entrada no debe de termina a más de 0.60 m. desde el punto de conexión del mueble.

1.6.1 Presión fluctuante

En caso de que la presión de la tubería maestra de abastecimiento de agua sea fluctuante⁶, el sistema de distribución hidráulica de la edificación debe ser diseñado con la presión más baja disponible y el consumo nominal. Dondequiera que la presión de agua de la tubería maestra u otras fuentes de suministro de agua sea suficiente para proveer la presión la presión y flujo a la salida del mueble.

⁶ Todo aquello que tiene alternancias; en caso de la presión de agua se refiere a que esta sube y baja en cualquier momento.

1.6.2 Presión elevada

En caso de que la presión estática dentro de la edificación exceda del límite admisible, debe instalarse una válvula para reducir dicha presión a, cuando menos, 5.6 kg/cm^2 , excepto en las líneas principales de suministros verticales. La válvula reductora de presión debe ser de tipo abierto con filtro de malla para permitir el flujo permanente de agua en caso de falla de la válvula. Todas las válvulas reductoras de presión, reguladores y filtros deben ser instalados para facilitar posibles reparaciones sin necesidad de retirar las piezas en buen estado ni romper la tubería.

1.6.3 Golpe de ariete

La velocidad del agua en el sistema de distribución debe ser controlada para reducir el efecto del golpe de ariete⁷. Un reductor de golpe de ariete debe instalarse o algún dispositivo para controlar el flujo de agua.

1.6.4 Distribuidores de agua

Los distribuidores para agua instalados en línea paralela a cada mueble o accesorio deben ser dimensionados de acuerdo a la tabla 1-4 dimensionales del distribuidor. El total de litros por minuto debe ser la demanda de todas las bocas alimentadas. Las válvulas de cierre, instaladas en los distribuidores, deben ser identificadas con respecto al mueble o accesorio que cada una de ellas controle.

⁷ (Choque hidráulico) es el incremento momentáneo en presión, el cual ocurre en un sistema de agua cuando hay un cambio repentino de dirección o velocidad del agua.

Dimensión nominal, diámetro interno	Máxima demanda en litros por segundo	
	Velocidad 1.22 metros por segundo	Velocidad 2.44 metros por segundo
13 mm (1/2 pulgada)	7.6	18.9
19 mm (3/4 pulgada)	22.7	41.6
25 mm (1 pulgada)	37.9	75.7
32 mm (1 1/4 pulgadas)	56.8	117.3
38 mm (1 1/2 pulgadas)	83.3	166.6

Tabla 1-4. Litros por segundo que pasan dentro de una tubería según su diámetro

1.6.5 Red interna

Las instalaciones de agua potable dentro de la vivienda están agrupadas en las siguientes redes de tuberías:

- I. Tubería que va del medidor al tinaco o a los muebles.
- II. Tubería del tinaco a los muebles (tubería de servicio).

Todas ellas conducen agua a los apartados sanitarios instalados, que para un correcto funcionamiento requieren de depósitos, válvulas y accesorios.

1.6.6 Cálculo de la red

Los diámetros de las tuberías de distribución se calculan por el método que el proyectista considere adecuado, siempre y cuando sea debidamente fundamentado y presente en la memoria de cálculo. La velocidad mínima debe ser de 0.60 m/s y la máxima de 1.90, 2.20, 2.48, 2.85, 3.0 m/s para diámetros de 13 mm, 19 mm, 25 mm, 32 mm, y mayores respectivamente (1/2", 3/4", 1", 1 1/4", y mayores a 1 1/4" respectivamente).

1.6.7 Antirretornos

Se debe disponer de sistemas antirretorno para evitar la inversión del sentido del flujo en los siguientes puntos: después del medidor y en la base de las subidas, principalmente en los edificios plurifamiliares. Las instalaciones de suministro de agua no deben conectarse directamente a instalaciones de drenaje sanitario, ni a instalaciones de suministro de agua proveniente de otro origen que la red municipal. En los aparatos y equipos de la instalación, la llegada de agua se debe realizar de tal modo que no se produzcan retornos.

1.7 Tuberías enterradas

La instalación de una tubería hidráulica de servicio o de distribución está prohibida en suelos y aguas freáticas contaminadas con solventes, combustibles, compuestos orgánicos u otros materiales perjudiciales que puedan causar filtración, corrosión, degradación o falla estructural del material de la tubería.

Cuando existan condiciones perjudiciales, deben ser requeridos materiales alternativos aprobados o un cambio de tubería aprobado. La tubería y los accesorios de las tuberías, incluyendo válvulas y llaves utilizadas en el sistema de abastecimiento de agua deben tener un contenido de plomo máximo del 8 %. Toda tubería hidráulica instalada bajo tierra y afuera de la estructura debe tener una clasificación de presión mínima de 10 kg/cm², donde la presión exceda los 10 kg/cm², el material de la tubería debe tener una presión mínima de trabajo igual a la presión disponible más alta.

1.7.1 Válvulas de interrupción

El sistema de alimentación y distribución de agua de una vivienda debe estar dotado de válvulas de interrupción como mínimo en los siguientes puntos: en la toma domiciliaria, en cada piso en caso de tratarse de vivienda plurifamiliar y en cada servicio sanitario con más de tres muebles. No deben instalarse válvulas en el piso o en lugares inundables.

1.7.2 Válvulas de apertura

Las válvulas de apertura total deben ser instaladas en la siguiente ubicación: en la tubería hidráulica de servicio de la edificación desde la tubería de abastecimiento público, en la tubería hidráulica de distribución de la entrada a la estructura, en el lado de la descarga del medidor, en la base de cada tubería hidráulica vertical en destinos que no sean viviendas para familias múltiples, que sean de dos pisos o menos de altura y para destino de vivienda de una y dos familias, en la boca de entrada de cada tubería hidráulica de abastecimiento a una unidad habitacional, excepto cuando ésta abastece un solo mueble que tiene llave individual de cierre, en la tubería de abastecimiento a un tanque de agua por gravedad o presión, en la tubería de abastecimiento a cada calentador de agua.

1.7.3 Válvulas de cierre

Las válvulas de cierre deben ser instaladas en las siguientes ubicaciones: en la boca de suministro de cada mueble sanitario excepto en regaderas que estén en destinos de viviendas de una o dos familias, en la tubería hidráulica de abastecimiento para cada llave de manguera, en la tubería hidráulica de abastecimiento de cada mueble o equipo mecánico.

1.8 Reforzamiento en tubería

Cuando la presión de agua en el tubo de abastecimiento municipal no es suficiente para suministrar la presión y cantidad mínima especificada por el código de vivienda familiar, el suministro debe complementarse con un tanque de agua elevado, un sistema de refuerzo de presión hidroneumático o una bomba de refuerzo de presión de agua.

1.8.1 Tanque elevado

Todos los tanques para el suministro de agua deben estar tapados para impedir el acceso a personas no autorizadas, basura y alimañas. La tapa del tanque de agua por gravedad debe ser ventilada con un respiradero con codo de 180° que tenga un diámetro no menor al diámetro de la tubería vertical de suministro, y el tubo de ventilación debe estar cubierto con una malla de material resistente a la corrosión.

1.8.2 Bombeo hidroneumático

Todo tanque de agua potable a presión debe ser provisto con una válvula de alivio⁸ de vacío en la parte superior del tanque que pueda operar hasta una presión de agua máxima de 200 psi⁹ y hasta una temperatura máxima de 93°C.

1.8.3 Instalación

En un sistema reforzado, cada tanque hidroneumático debe ser protegido por una válvula de alivio de presión que debe ser calibrada a una presión máxima igual a la clasificación del tanque. La válvula de alivio debe ser instalada en el lado de la tubería de suministros al tanque o sobre el tanque. La válvula de alivio debe descargar por gravedad a un lugar seguro para la eliminación de la presión. Al terminar una sección o la totalidad del sistema de abastecimiento de agua, se debe realizar una prueba hidrostática al sistema o a la porción completada.

1.9 Materiales, juntas y conexiones

1.9.1 Materiales

Las tuberías y conexiones que formen la red de agua potable en las viviendas deben ser de los siguientes materiales: cobre, fierro galvanizado, PVC, polietileno y otros tipos de materiales, siempre y cuando lo aprueben las autoridades competentes para el uso al que se destina.

I. Cobre

Las tuberías y conexiones que formen la red de agua potable en las viviendas deben ser de los siguientes materiales: cobre, fierro galvanizado, PVC, polietileno y otros tipos de materiales, siempre y cuando lo aprueben las autoridades competentes para el uso al que se destina.

⁸ Válvula de límite de presión.

⁹ (Del inglés Punds per Square Inch) unidad de presión cuyo valor equivale a una libra por pulgada cuadrada.

- a. Soldadura de estaño no. 50 cuando se trate de agua fría y columnas de doble ventilación.
- b. Soldadura de estaño no. 90 cuando se trate de conducción de agua caliente.

II. Fierro galvanizado

Cuando el material de conducción sea fierro galvanizado, en la parte del macho se debe aplicar un compuesto especial o cinta de teflón, la cual debe aplicarse siempre que se conecta la tubería de fierro galvanizado con piezas especiales, válvulas de cobre, bronce o cualquier otro material. La conexión debe ser compatible con la rosca tipo cónica para la tubería.

Todas las tuberías metálicas enterradas antes de su colocación deben ser pintadas con pintura anticorrosiva y deben ir a 30 cm bajo el nivel del jardín a menos que se especifique una mayor profundidad en el proyecto.

En caso de emplear otro tipo de material específico en el proyecto, éste debe estar protegido contra la corrosión, impactos mecánicos y en su caso, del fenómeno de la electrólisis¹⁰; estos materiales deben tener la aprobación de las normas ecológicas vigentes para tener la seguridad de que no contaminen el agua que conducen ni el estrato que las contiene.

Con la finalidad de tener el control de eficiencia de la tubería que se ha instalado en los edificios, se deben realizar pruebas que determinen que la estructura y composición de los materiales no ha cambiado.

III. Plástico

Se permite la utilización de materiales plásticos como el PVC, CPVC, ABS, polietileno, polipropileno, coextruido, fibrocemento, etc. Siempre que hayan sido aprobados para ese uso específico.

¹⁰ La electrólisis del agua es la descomposición del agua en los gases de oxígeno e hidrógeno por medio de una corriente eléctrica a través del agua.

1.10 Accesorios

1.10.1 Restricciones

Los accesorios no deben tener escalones, resaltos o reducciones capaces de retardar u obstruir el flujo de la tubería. Todas las válvulas deben ser de tipos aprobados y compatibles con el tipo de material de la tubería instalada en el sistema.

1.10.2 Tinacos

I. Condiciones de uso

Toda vivienda que esté ubicada en sectores en los cuales el sistema de abastecimiento de agua no es continuo, o bien, opere con presiones bajas, debe tener dentro de su instalación un depósito de almacenamiento de agua, el cual puede ser una cisterna o un tinaco ubicado en la azotea de la vivienda.

II. Características

Los tinacos para almacenamiento y distribución de agua por gravedad deben cumplir con la norma mexicana NMX-C-374-2000 ONNCCE-TINACOS REFABRICADOS – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA y deben ser del volumen requerido por la vivienda. La determinación de la capacidad necesaria de un tinaco, depende del número de personas que se consideren en la vivienda.

III. Instalación

Todos los tinacos antes del codo de bajada deben tener un dispositivo para el desalojo del agua para el lavado y mantenimiento del mismo con válvula de control. Al iniciar la bajada se debe localizar el jarro de aire el cual debe tener una altura mayor que el máximo nivel de agua en el tinaco.

Los tinacos deben colocarse a una altura de, por lo menos, dos metros arriba del mueble sanitario más alto. Deben ser de materiales inocuos¹¹ y tener registros con cierre hermético. El control de llenado del tinaco, cuando sea alimentado directamente de la red municipal, debe ser mediante una válvula de flotador o un controlador de nivel automático.

1.11 Cisterna

1.11.1 Condiciones de uso

Cuando la instalación de una cisterna se considere dentro del proyecto de viviendas, se deben tener las siguientes consideraciones:

I. Características

Las cisternas deben ser construidas de concreto reforzado al que se le adiciona un aditivo impermeabilizante integral y utilizando concreto tipo V¹². Deben ser completamente impermeables y tener registros con cierre hermético y sanitario y ubicarse a 3 metros, cuando menos, de cualquier tubería de aguas negras.

Los muros y losa de desplante de la cisterna deben tener un espesor mínimo de 20 cm, garantizando la estanqueidad por ambos lados de la cisterna. La distancia al lindero más próximo debe ser 1.0 m. En caso de no cumplir con la distancia mínima se debe diseñar un sistema de protección que evite la posible contaminación de la cisterna.

II. Instalación

El control de los niveles de agua en la cisterna se debe hacer por medio de interruptores automáticos que permitan:

¹¹ No hace daño a la familia habitante del mueble.

¹² Usado donde se requiera una elevada resistencia a la acción concentrada de los sulfatos (canales, alcantarillas, obras portuarias, cisternas, etc.).

- a. Arrancar la bomba cuando el nivel de agua en el tinaco descienda hasta la mitad de la altura útil.
- b. Parar la bomba cuando el nivel de agua en el tinaco ascienda a su nivel máximo.
- c. Parar la bomba cuando el nivel de agua en la cisterna descienda a una altura de 5 cm por encima de la canastilla de succión.

1.12 Sistemas de control

Un sistema de control es un tipo de sistema que se caracteriza por una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema. La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados.

Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

- I. Garantizar la estabilidad.
- II. Ser tan eficiente como sea posible, según un criterio preestablecido.
- III. Ser fácilmente implementable y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

I. Sensores

Permiten conocer los valores de las variables medidas del sistema.

II. Controlador

Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control.

III. Actuador

Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control.

Los sistemas de control y supervisión de las infraestructuras disponibles actualmente, para la extracción, conducción, almacenamiento, distribución y bombeo de agua potable han permanecido inalterados durante los últimos años. Dichos sistemas, fueron satisfactorios en sus inicios, hoy en día son obsoletos ante los avances tecnológicos que en los últimos años se han desarrollado, para operar con mayor eficacia la infraestructura hidráulica.

Por consiguiente, se requiere el automatizar las funciones de supervisión de la infraestructura hidráulica, mediante medidores de flujo, presión, nivel, sensores detectores de movimientos, puertas abiertas, switch, válvulas de control, solenoides, operación de prendido – apagado de equipos de bombeos, con lecturas a control remoto a través de un centro de comunicación, capaz y eficiente. Estas herramientas son cada vez más necesarias para la operación debido a que la expansión de la infraestructura hidráulica al incrementar su demanda implica la operación de sistemas de operación más eficientes que eviten el desperdicio y el abuso del vital líquido.

Los sistemas de control de distribución de agua dependen del objetivo con el cual estos se vayan a utilizar. Hoy día las comunidades que requieren de estos sistemas tienen múltiples soluciones y cada una de ellas cuenta con tecnología que satisface perfectamente sus necesidades.

Un sistema de control muy sofisticado en la distribución de agua potable a comunidades es un sistema “multi-bomba” para presiones proporcionales, en donde el sistema puede designar el caudal preciso y necesario según la presión requerida con un número de bombas rindiendo en el punto más eficiente (en lugar de una bomba de gran tamaño). Estos sistemas de control incrementan el potencial de mejora tanto de la eficiencia como de la fiabilidad.

La sostenibilidad de los sistemas de distribución de agua desde una fuente muchas veces requiere que las soluciones de bombeo sean duraderas, aseguren la rentabilidad y funcionen sin problemas.

1.13 Sensores

Un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, flujo, etc.) en valores medibles de dicha magnitud. Esto se realiza en tres fases:

- I. Un fenómeno físico a ser medido es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física.
- II. La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, cuya salida es un voltaje.
- III. El sensor dispone de una circuitería que transforma y /o amplifica la tensión de salida, la cual pasa a un convertidor A/D, conectado a un equipo de cómputo. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta.

1.14 Plataformas de hardware libre

A la sombra del crecimiento del software libre, ha aparecido en los últimos años el llamado hardware libre. Su objetivo es crear diseños de dispositivos informáticos de forma abierta, de manera que todas las personas puedan acceder, como mínimo, a los planos de construcción de los dispositivos. Lejos de ser una novedad, esta corriente enlaza directamente con la década de los 70's, cuando los primeros aficionados de los ordenadores construían sus propios equipos con piezas compradas a diferentes fabricantes y creaban sus propias implementaciones.

Al igual que en el software libre, la denominación de hardware libre, se refiere a la libertad de poder utilizar el dispositivo y la documentación, no a que sea necesariamente gratuito. Básicamente se considera que un hardware es abierto o libre si cumple una serie de requisitos.

Se puede definir como “un hardware cuyo diseño se pone a disposición del público de modo que cualquiera puede estudiar, modificar, distribuir, hacer y vender el diseño o el hardware que sustente en dicho diseño.” Así el hardware libre utiliza elementos y materiales inmediatamente disponibles, procesos estandarizados, infraestructura abierta, contenido no restringido y herramientas de diseño libres brindando la posibilidad de controlar su

tecnología mientras comparten el conocimiento y alientan el comercio a través del intercambio abierto de diseños.

A partir de estos principios, el uso de hardware libre ofrece distintas ventajas a una sociedad y en particular a sus sectores más innovadores. Entre ellas destaca la mejora de la sostenibilidad y soberanía tecnológicas, así como la adopción de los principios del software libre. Además, el fortalecimiento de ecosistemas de innovación y producción basados en los principios del hardware libre y análogos favorece el empoderamiento de las comunidades y la utilidad social y apropiabilidad en el uso de las tecnologías, debido a su potencial reducción de costes respecto al diseño propietario, su eventual valor educativo al insertarse en procesos de aprendizaje y de trabajo necesariamente colaborativo. Un ecosistema productivo con estas características puede responder mejor a las necesidades reales de sus comunidades de referencia, dando eficacia a distintos modelos posibles, reduciendo la dependencia tecnológica del capitalismo.

1.14.1 Clasificación del hardware libre

1.14.1.1 Hardware estático

Este tipo de hardware es un conjunto de elementos materiales de un sistema electrónico no reconfigurable. Este tipo de hardware se caracteriza por ser físicamente único, es decir, o poseemos el circuito o no. Es el más usual hoy en día, se caracteriza por estar limitado por su propia existencia física. No podemos copiarlo con facilidad ni distribuirlo (abierto). Sin embargo, lo que sí se puede hacer es distribuir sus planos de fabricación, o bien a nivel de circuito impreso.

1.14.1.2 Hardware reconfigurable

Es un circuito en el que se implementa en base a una descripción lógica HDL (Hardware Description Language). Su naturaleza es completamente diferente a la del hardware estático. Se puede divulgar con facilidad, mientras que la base no solo no puede intercambiarse (por ser la implementación estática del sistema reconfigurable) sino que no existe en la actualidad ninguna implementación cuyo diseño sea libre.

1.14.1.3 Open Hardware

La traducción directa sería Hardware Abierto y es un término usado principalmente por los programadores. De hecho el término “Open Hardware” con mayúsculas es una marca registrada que defiende con todo el hardware y sustenta que debería estar acompañado por las especificaciones necesarias para poder usarlo.

1.14.2 Plataformas de hardware libre actuales

Existen muchas plataformas de desarrollo, con distintos microcontroladores y especificaciones técnicas, que permiten crear dispositivos programados que pueden tomar información del exterior por medio de distintos sensores o captadores de información. A continuación se mencionan algunas plataformas de hardware libre.

I. USRP

También conocido como Universal Software Radio Peripheral, es una placa diseñada específicamente para fabricar sistemas de radio basados en software. Por su naturaleza abierta y libre, tanto los esquemas como el software necesario para su funcionamiento están disponibles, pero un punto extra a favor de USRP es su enorme nivel de flexibilidad. Los desarrolladores pueden incluso crear sus propias placas de extensión para el USRP, alternando sus propiedades o agregando funciones específicas que no están contempladas en el diseño original.



Imagen 1-9. Vista superior de una placa de hardware libre URSP

II. Open SPARC

OpenSparc es un proyecto de hardware libre que vio la luz desde 2005, de la mano de Sun Microsystems (ahora Oracle). El logo de OpenSPARC se basa en la libre disponibilidad del Verilog (o “lenguaje de descripción de hardware”) de un procesador completo de 64 bits, conocido como UltraSPARC T1.



Imagen 1-10. Placa de hardware libre OpenSPARC

III. Arduino

Arduino es una plataforma de código y hardware libre, está basado en una sencilla placa de entradas y salidas, analógicas y digitales, en un entorno de desarrollo que está basado en el lenguaje de programación Processing. Cuenta con un microcontrolador Atmega 328; dispone de 14 entradas/salidas digitales, 6 de las cuales se pueden emplear como salidas PWM (modulación de anchura de pulsos). Dispone de 6 entradas analógicas, un oscilador de 16 mHz, una conexión USB, un conector de alimentación y un pulsador para reset.

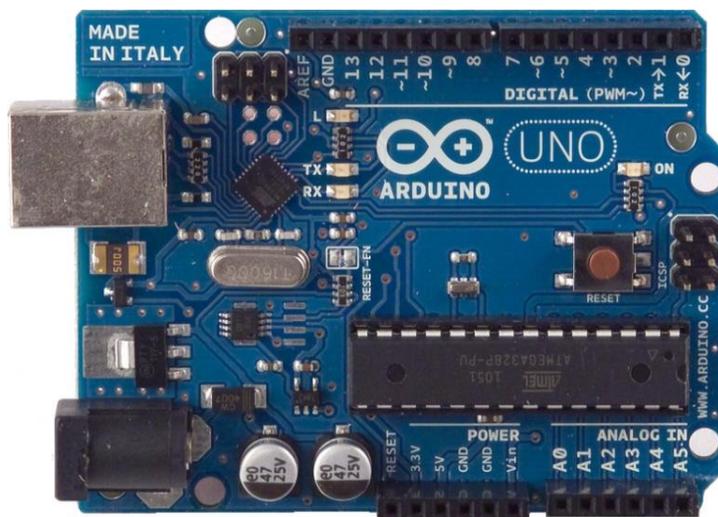


Imagen 1-11. Placa de hardware libre Arduino

IV. OGP

El proyecto OGP (Open Graphics Project) busca diseñar nada menos que una placa de vídeo de código abierto. Utilizando una interfaz PCI¹³, cuenta con un total de 256 MB de RAM.

¹³ Por sus siglas en inglés Peripheral Component Interconnec. Es básicamente una especificación para la interconexión de componentes en ordenadores.



Imagen 1-12. Placa de video de código abierto OGP

V. Uzebox

Este proyecto de hardware libre tiene como objetivo desarrollar una consola de videojuegos totalmente libre y abierta.

La consola Uzebox está basada en el microcontrolador AVR de Atmel en una placa de hardware extremadamente simple con 4 KB de memoria RAM, 64 de memoria de programa y un puerto MIDI en un sistema que usa un kernel¹⁴ basado en interrupciones con el que se sincronizan a tiempo real la generación del vídeo o la mezcla de audio.

VI. Open Compute Project

El Open Compute Project, tiene su enfoque en el mundo del data center y los servidores. Esta fue una iniciativa que surgió en 2011 de la mano de Facebook, un proyecto de hardware abierto en el que la compañía impulsa el diseño y fabricación de servidores propios cuyos esquemas comparte y así abrir este sector para que se puedan implementar servidores a medida o extremadamente optimizados.

¹⁴ Es la parte central del sistema operativo. Funciona como intermediario entre el software y el hardware, puesto que recibe las órdenes de los elementos del sistema operativo para enviárselas a este.

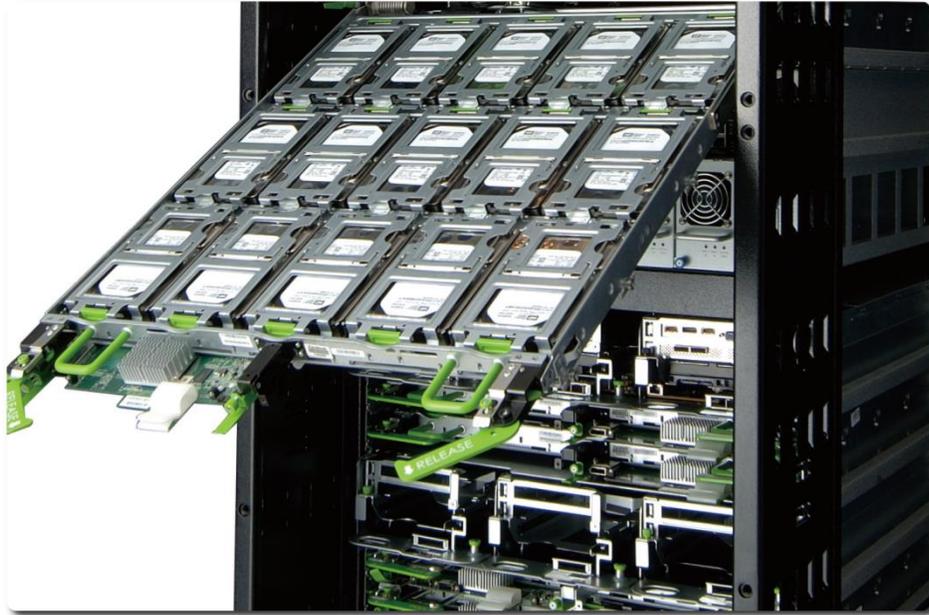


Imagen 1-13. Servidores de hardware libre Open Compute Project

VII. Raspberry Pi

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida (o placa única) de bajo costo, desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas.

El diseño incluye un System-on-a-chip Broadcom BCM2835, que contiene un procesador central (CPU) ARM1176JZF-S a 700 MHz, un procesador gráfico VideoCore IV, y 512 MB de RAM.

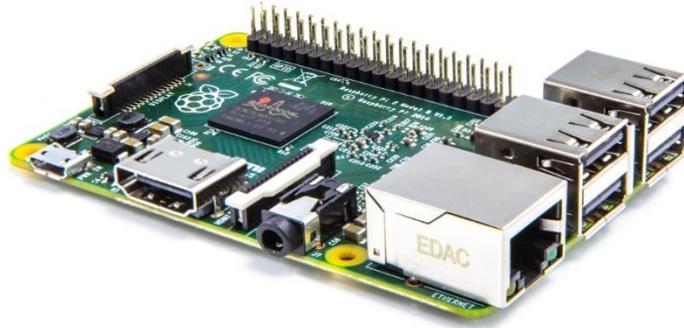


Imagen 1-14. Placa de hardware libre Raspberry Pi

VIII. RepRap

Es un proyecto de una impresora en 3D de código abierto y saltó a la fama porque tiene la capacidad de duplicarse a sí misma. En otras palabras RepRap puede “imprimir” la gran mayoría de sus partes necesarias para la construcción de otra RepRap.

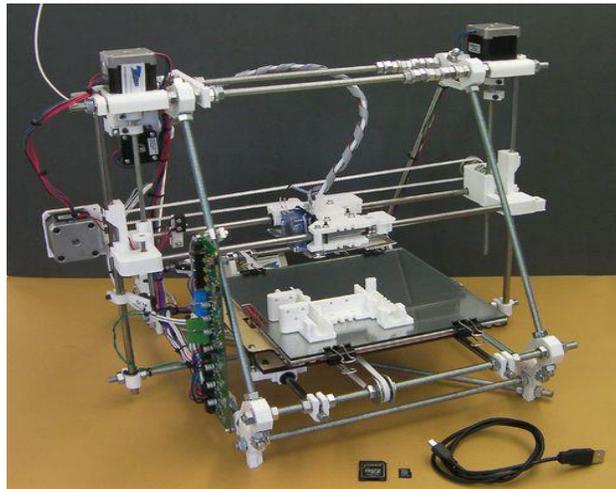


Imagen 1-15. Impresora de hardware libre RepRap

IX. Netduino

Es una plataforma de hardware libre que facilita la implementación de dispositivos externos con lenguajes de programación de alto nivel.

Es un dispositivo que contiene un microprocesador, una interfaz de salida y entrada, un led y un botón de reset.

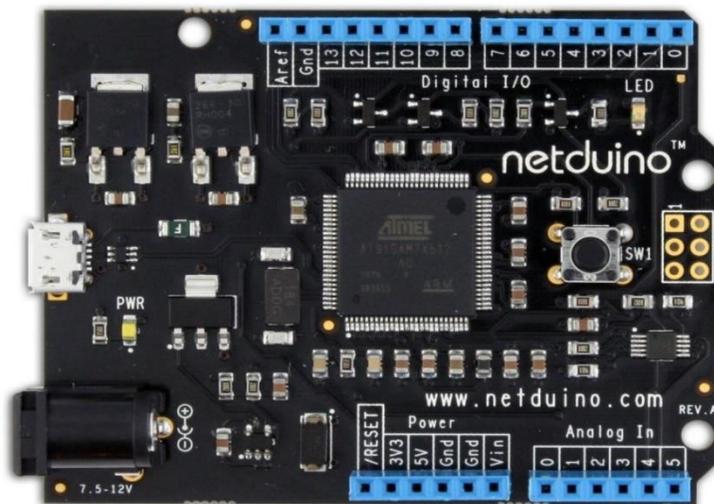


Imagen 1-16. Placa de hardware libre Netduino

1.15 Lenguajes de programación

(Sapir, 2008) Antropólogo y lingüista americano define al lenguaje como “un método exclusivamente humano, y no distintivo, de comunicar ideas, emociones y deseos por medio de un sistema de símbolos producidos de manera deliberada”. Un lenguaje formal no sólo consta de palabras, sino también de su pronunciación y los métodos para combinar las palabras en frases y oraciones. Las combinaciones posibles deben respetar un conjunto de reglas sintácticas establecidas, a lo que se le denomina **Sintaxis** y además deben tener determinado sentido para poder ser comprendidas por un grupo humano en un contexto dado, es decir, deben tener **Semántica**.

Los lenguajes de programación son lenguajes formales porque poseen un conjunto de reglas (sintácticas y semánticas), notaciones, símbolos y/o caracteres que permiten a un programador poder expresar el procesamiento de datos y sus estructuras en una computadora. Mediante los lenguajes de programación, el ser humano puede comunicarse con una computadora y decirle que es lo que tiene que hacer y, al mismo tiempo, sirven para comunicarse con otros seres humanos y expresarles qué es lo que se quiere que haga una computadora.

1.15.1 Paradigmas de programación

En el contexto de las ciencias de la computación, los paradigmas de programación fue aplicado por primera vez por Robert Floyd (Robert, 1994) definió el concepto de Paradigma de Programación como un proceso de diseño que va más allá de una gramática, semántica y algoritmos, sino que es un conjunto de métodos sistemáticos aplicables en todos los niveles de diseño de programas.

Actualmente existen una gran variedad de paradigmas de programación, pero una clasificación general podría ser la siguiente según (Joaquín, 2010):

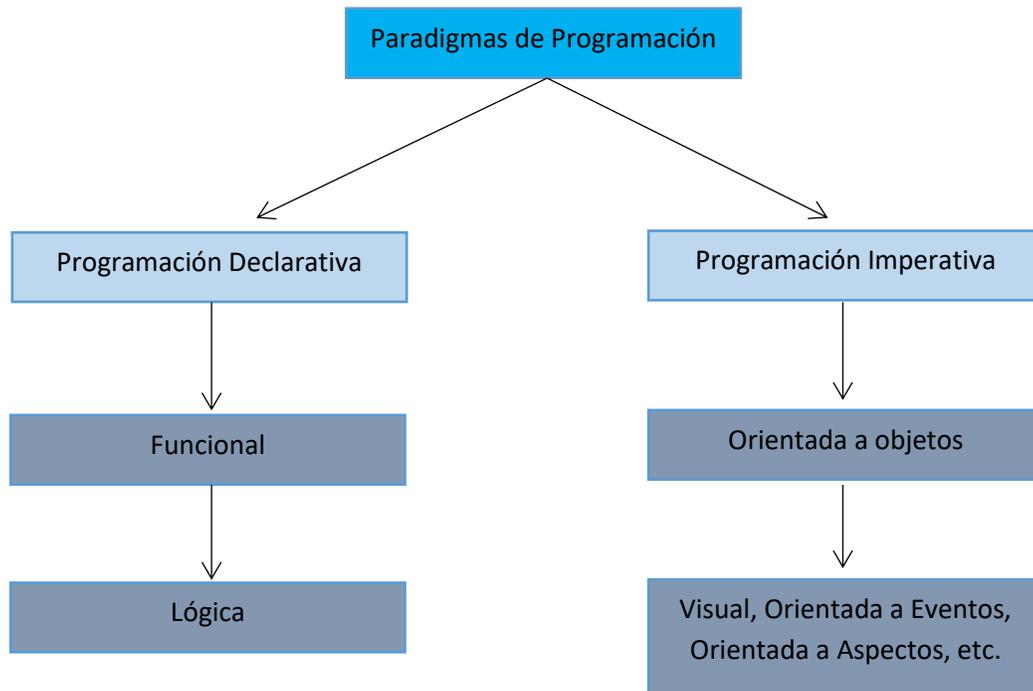


Imagen 1-17. División dentro de los paradigmas de la programación.

I. Programación declarativa

Está basada en el desarrollo de programas especificando o “declarando” un conjunto de condiciones, proposiciones, afirmaciones, restricciones, ecuaciones o transformaciones que describen el problema y detallan su solución. La solución es obtenida mediante mecanismos internos de control, sin especificar exactamente cómo encontrarla, por ejemplo Prolog y Lisp.

II. Programación imperativa

Es la más común y la más conocida. Los programas imperativos son un conjunto de instrucciones que le indican a la computadora cómo realizar una tarea. Está representada por C, Basic, Fortran, etc.

III. Programación funcional

Es la que emplea un lenguaje matemáticamente elegante, empleando principalmente funciones aritméticas y pertenece también al grupo de lenguajes declarativos; algunos ejemplos son Haskell, Miranda y Scheme.

IV. Programación lógica

Permite formalizar hechos del mundo real y forma parte de los programas declarativos. El lenguaje lógico por excelencia es Prolog, que a la vez es declarativo

V. Programación orientada a objetos

Intenta simular el mundo real a través del significado de objetos que contiene características y funciones. Los lenguajes orientados a objetos se clasifican como lenguajes de quinta generación y forman parte de la programación imperativa. Se basa en la idea de un objeto, que es una combinación de variables locales y procedimientos llamados métodos que juntos conforman una entidad de programación. En la actualidad, existe una gran variedad de lenguajes de programación que soportan la orientación a objetos: C++, Java, Smalltalk, Ruby on Rails, Python y JavaScript, entre muchos otros.

La Programación Orientada a Objetos es la que se utiliza en este proyecto de Tesis.

1.15.2 Algoritmo

Existen distintas formas de definir lo que es un algoritmo en la programación, pero generalizando se puede decir que es un conjunto de instrucciones que especifican la secuencia ordenada de operaciones a realizar para resolver un problema, es decir, funciona como método o fórmula para la resolución de un problema. El algoritmo que se genere para la solución de algún problema resulta independiente del lenguaje de programación en el que esté expresado y también es independiente de la computadora donde se pretenda ejecutar.

Esquema del desarrollo de un algoritmo:

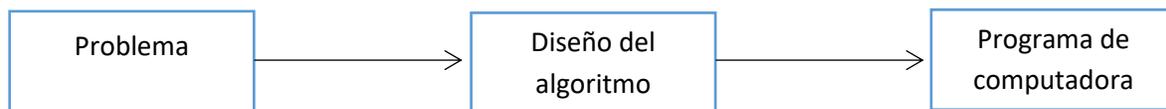


Imagen 1-18. Esquema para desarrollar un algoritmo

Los algoritmos sin importar que problema resuelvan, deben contar con las siguientes propiedades:

- I. El algoritmo debe ser preciso e indicar el orden de realización de cada paso.
- II. El algoritmo debe ser definido, si se sigue un algoritmo varias veces, se debe obtener el mismo resultado cada vez.
- III. El algoritmo debe ser finito, si se sigue un algoritmo se debe determinar en algún momento; o sea debe tener un número finito de pasos.

El algoritmo debe ser planteado como un sistema de información.

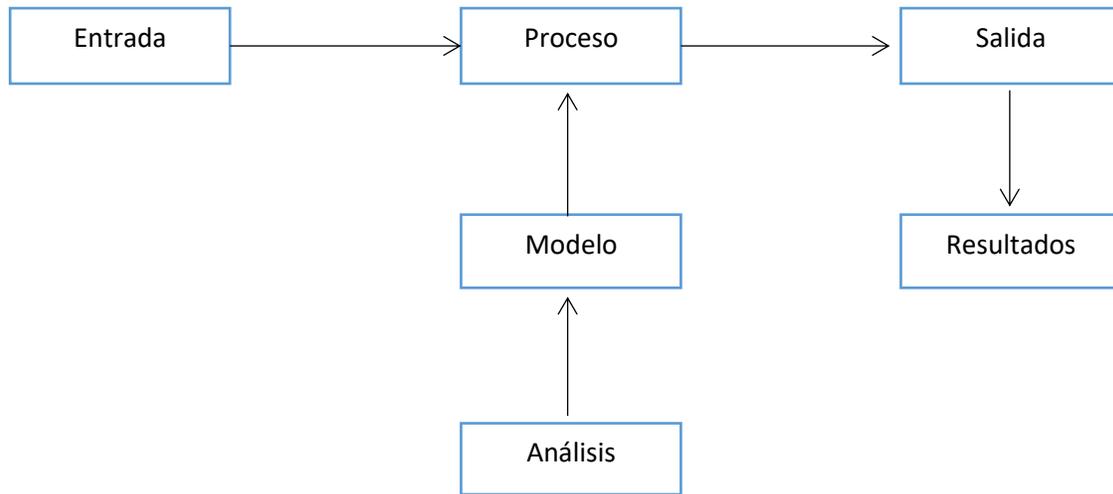


Imagen 1-19. Algoritmo como sistema de información

1.15.2.1 Pseudocódigo

Es una serie de instrucciones a seguir pero utilizando palabras léxicas y gramaticales referidos a los lenguajes de programación, pero sin llegar a estar estrictamente correcta su sintaxis de programación; ni tener la fluidez del lenguaje coloquial. Permitiendo codificar un programa con mayor agilidad que en cualquier lenguaje de programación.

//Obtener el valor del promedio de 3 calificaciones

float a, b, c, Sum, Prom;

1. *Inicio*
2. *Mostrar dame las tres calificaciones*
3. *Leer a, b, c*
4. *Sum = a+b+c*
5. *Prom = Sum / 3*
6. *Mostrar "el promedio es: ", Prom*
7. *Fin*

1.15.2.2 Diagrama de flujo

Un diagrama de flujo es una forma de representar gráficamente los pasos para resolver un problema en específico. Estos diagramas utilizan una serie de símbolos con significados especiales y son la representación gráfica de los pasos de un proceso. En computación es un primer enfoque con lo que sería la programación formal.

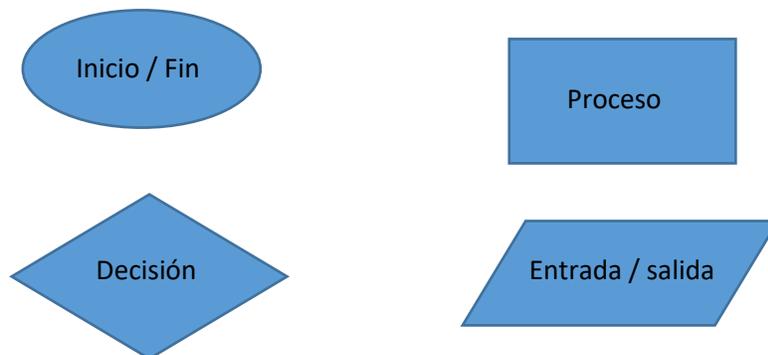
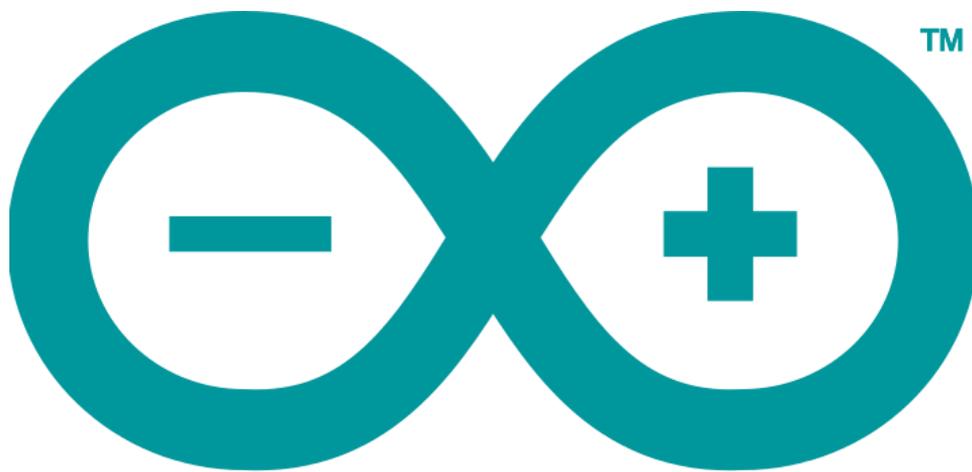


Imagen 1-20. Elementos para construir un diagrama de flujo

2. Arduino



En el primer capítulo se trató el tema sobre las plataformas de hardware libre, donde se mencionaron algunas de las ventajas al momento de utilizar este tipo de hardware; ahora, en este segundo capítulo se habla principalmente de las bondades y de la forma en que se utiliza este dispositivo para poder crear objetos interactivos, haciendo énfasis en la versión de la placa Arduino que es la utilizada para el desarrollo del prototipo del sistema de control de distribución de agua dentro de la Unidad Habitacional El Encino.

2.1 Concepto de Arduino

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos.

Arduino puede “sentir” el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros dispositivos. El microcontrolador de la placa se programa usando el *Arduino Programming language* (basado en Wiring) y el *Arduino Development Environment* (basado en Processing). Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador (por ejemplo con Flash, Processing, MaxMSP, etc.).

Las placas se pueden ensamblar a mano o encargarse pre ensambladas; el software se puede descargar gratuitamente. Los diseños de referencia del hardware (archivos CAD) están disponibles bajo licencia open-source, por lo que se pueden adaptar de acuerdo a las necesidades.

Por lo tanto se define como una plataforma para crear proyectos interactivos y consta básicamente de dos partes, la placa Arduino que es la parte del hardware y el IDE¹⁵ de Arduino que es el software que se ejecuta en una computadora.

2.2 ¿Por qué Arduino?

Existen muchos otros microcontroladores y plataformas microcontroladas disponibles para computación física. Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard, y muchas otras ofertas de funcionalidad similar. Todas estas herramientas toman los desordenados detalles de la programación de microcontrolador y la encierran en un paquete fácil de usar. Arduino también simplifica el proceso de trabajo con microcontroladores, pero ofrece algunas ventajas para profesores, estudiantes y aficionados interesados sobre otros sistemas:

¹⁵ Un IDE es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación, es decir, contiene un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI).

- I. Barato: las placas Arduino son relativamente baratas comparadas con otras plataformas microcontroladoras. La versión menos cara del módulo Arduino puede ser ensamblada incluso a mano.
- II. Multiplataforma: El software de Arduino se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux. La mayoría de los microcontroladores están limitados a Windows.
- III. Entorno de programación simple y claro: El entorno de programación de Arduino es fácil de usar para principiantes, pero suficientemente flexible para que usuarios avanzados puedan aprovecharlo también.
- IV. Código abierto y software extensible: El software de Arduino está publicado como herramientas de código abierto, disponible para extensión por programadores experimentados. El lenguaje puede ser expandido mediante librerías C++.
- V. Código abierto y hardware extensible: Arduino está basado en microcontroladores AT-MEGA8 y ATMEGA168 de Atmel. Los planos para los módulos están publicados bajo licencia Creative Commons, por lo que los diseñadores experimentados de circuitos pueden hacer su propia versión del módulo, extendiéndolo y mejorándolo.

Anteriormente la creación de objetos interactivos era solo realizada por personas con conocimientos realmente elevados, ya que para poder elaborar algún dispositivo que interactuara directamente con una o varias personas, requería de conocimientos en distintas áreas. Arduino y otras plataformas han logrado introducir a muchas personas a este tipo de desarrollo ya que no requiere grandes conocimientos. Con Arduino un diseñador puede llegar a conocer los conceptos básicos de la electrónica y sensores muy rápidamente, esto permite comenzar a construir prototipos con muy poca inversión y pocos conocimientos.

2.3 Hardware de Arduino

En el mercado existen muchas versiones del hardware, ya que Arduino nació como un proyecto educativo por el año 2005 sin pensar que algunos años más tarde este se convertiría en líder del mundo en DIY (Do It Yourself / hágalo usted mismo). El primer prototipo fue desarrollado en el instituto IVRAE pero aún no se llamaba como tal.

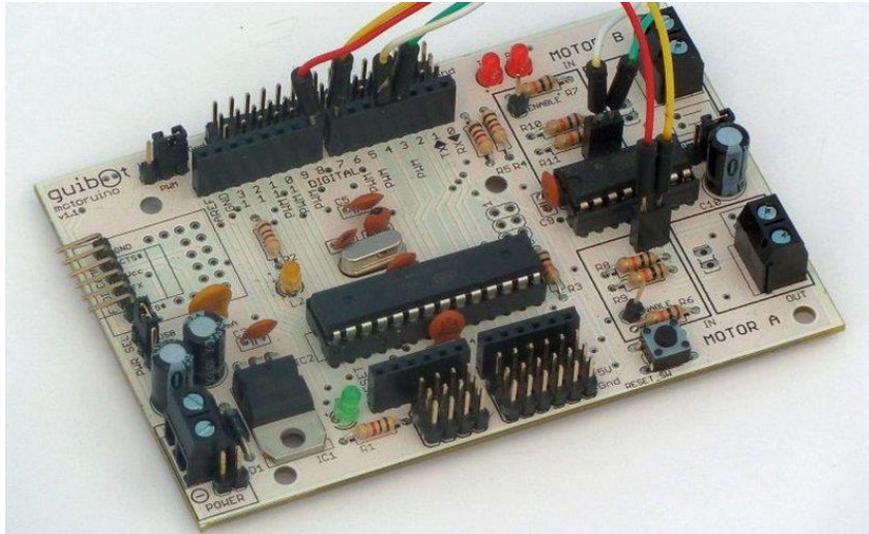


Imagen 2-1. Primeros diseños de la placa Arduino

El hardware de Arduino se distingue por la potencia de trabajo que tiene cada versión y algunas de las características principales que destacan uno del otro es el microcontrolador con el que trabaja cada placa, también una de característica que hace la diferencia es la cantidad de entradas/salidas analógicas y digitales.

En la tabla 2-1 se muestran distintas versiones de Arduino, dentro de las cuales se encuentra la placa utilizada en este proyecto.

Placa Arduino	Procesador	Velocidad	Voltaje	Puertos digitales	Entradas analógicas
Uno	ATmega328P	16 MHz	5 V	14	6
Nano	ATmega168 o ATmega328	16 MHz	5 V	14	8
Micro	ATmega32u4	16 MHz	5 V	20	12
Mega2560	ATmega2560	16 MHz	5 V	54	16
Mega	ATmega1280	16 MHz	5 V	54	16
LilyPad	ATmega168V o ATmega328V	8 MHz	2.7-5.5 V	14	6
Leonardo	ATmega32u4	16 MHz	5 V	14	12
Fio	ATmega328P	8 MHz	3.3 V	14	8
Ethernet	ATmega328	16 MHz	5 V	14	6
Duemilanove	ATmega168 o ATmega328P	16 MHz	5 V	14	6
Due	AT91SAM3X8E	84 MHz	3.3 V	54	12
Diecimila	ATmega168	16 MHz	5 V	14	6
ADK	ATmega2560	16 MHz	5 V	54	16

Tabla 2-1. Descripción de las diferentes versiones de la placa Arduino

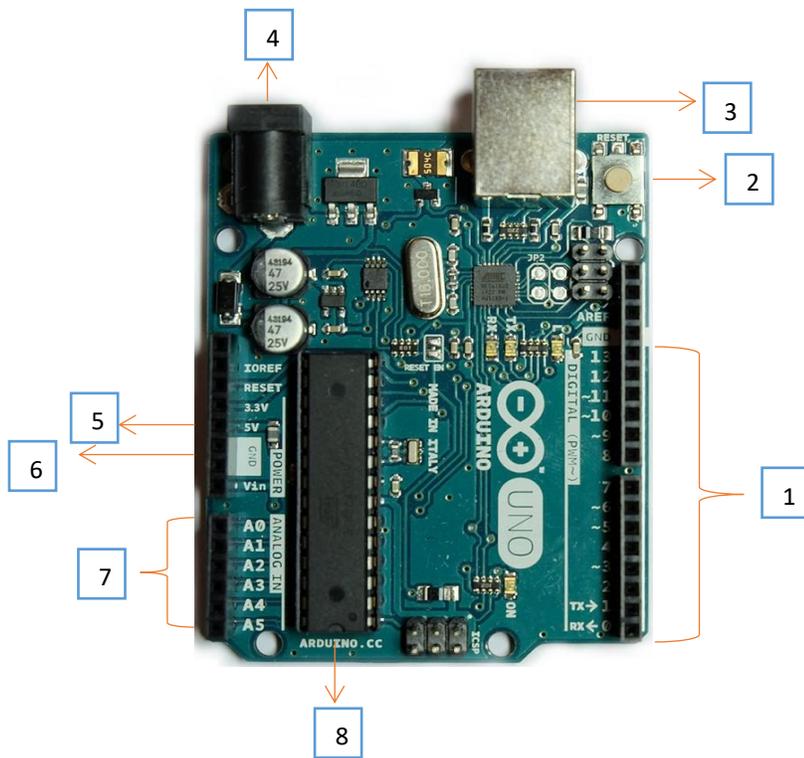


Imagen 2-2. Componentes de Arduino

En la imagen 2-2 se pueden observar los componentes más importantes que conforman la placa Arduino.

1. Pines digitales
2. Botón de reset
3. USB a computadora
4. DC entrada 7-12 V
5. Salida de 5 V y 3 V
6. Tierra
7. Pines analógicos
8. Microcontrolador

La tabla 2-2 muestra específicamente las características de la Placa Arduino UNO.

Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines de entrada/salida digital	14(6 pueden usarse como salida de PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente continua por pin IO	40 mA
Corriente continua en el pin 3.3V	50 mA
Memoria flash	32 KB (0.5 KB ocupados por el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

Tabla 2-2. Características de Arduino UNO

2.3.1 Entradas y salidas de Arduino

Arduino UNO es una placa microcontroladora basada en ATmega328. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usados como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un oscilador de cuarzo a 16 MHz, una conexión USB, un conector para alimentación, una cabecera ICSP, y un botón reset. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente se debe conectar a un ordenador con un cable USB o enchufarlo con un adaptador AC/DC o batería para comenzar.

2.3.2 Alimentación

Arduino UNO puede ser alimentado a través de la conexión USB o con un suministro de energía externo. La fuente de energía se selecciona mediante el jumper PWR_SEL: para alimentar a la placa desde la conexión USB, colocarlo en los dos pines más cercanos al conector USB, para un suministro de energía externo, colocarlo en los dos pines más cercanos al conector de alimentación externa.

La alimentación externa (no USB) puede venir desde un adaptador AC/DC o desde una batería. El adaptador puede ser conectado mediante un enchufe centro-positivo, en el conector de alimentación de la placa. Los cables de la batería pueden insertarse en las cabeceras de los pines Gnd y Vin del conector POWER. Un regulador de bajo abandono proporciona eficiencia energética mejorada.

La placa puede operar con un suministro externo de 6 a 20 voltios. Si es suministrada con menos de 7 V, sin embargo, el pin de 5 V puede suministrar menos de 5 voltios y la placa podría ser inestable. Si se usa más de 12 V, el regulador de tensión puede sobrecalentarse y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

Los pines de alimentación son los siguientes:

- I. VIN. La entrada de tensión a la placa Arduino cuando está usando una fuente de alimentación externa (al contrario de los 5 voltios de la conexión USB u otra fuente de alimentación regulada). Se puede suministrar tensión a través de este pin, o, si se suministra tensión a través del conector de alimentación, acceder a él a través de este pin.
- II. 5V. El suministro regulado de energía usado para alimentar el microcontrolador y otros componentes de la placa. Este puede venir o desde VIN a través de un regulador en la placa, o ser suministrado por USB y otro suministro regulado de 5
- III. 3V3. Un suministro de 3.3 V generado por el chip FTDI de la placa. La corriente máxima es de 50 mA.
- IV. GND. Pines de Tierra.

2.3.3 Memoria

El ATmega328 tiene 16 KB de memoria Flash para almacenar código (de los cuales 2 KB se usa para el “bootloader”). Tiene 1 KB de SRAM y 512 bytes de EEPROM (que puede ser leída y escrita con la librería EEPROM¹⁶).

2.3.4 Entrada y salida

Cada uno de los 14 pines digitales de Arduino UNO puede ser usado como entrada o salida, usando funciones *pinMode()*, *digitalWrite()* y *digitalRead()*.¹⁷ Operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia interna “pull-up” (desconectada por defecto) de 20-50 KOhms. Además, algunos pines tienen funciones especiales:

- I. Serial: 0 (Rx) y 1 (Tx). Usados para recibir (Rx) y transmitir (Tx) datos TTL¹⁸ en serie. Estos pines están conectados a los pines correspondientes del chip FTDI USB-a-TTL Serie.
- II. Interruptores externos: 2 y 3. Estos pines pueden ser configurados para disparar un interruptor en un valor bajo, un margen creciente o decreciente, o un cambio de valor. Con la función *attachInterrupt()*¹⁹.
- III. PWM: 3, 5, 6, 9, 10 y 11. Proporcionan salida PWM de 8 bits con la función *analogWrite()*²⁰
- IV. SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Estos pines soportan comunicación SPI, la cual, aunque proporcionada por el software subyacente, no está incluida actualmente en el lenguaje de Arduino.

¹⁶ Memoria cuyos valores se mantienen cuando la placa está apagada (como un pequeño disco duro).

¹⁷ Funciones que se utilizan para configurar el modo de trabajo del pin digital, activar o desactivar un pin y leer el estado de un pin.

¹⁸ TTL significa “Tiempo de vida” o “Time To Live”, y se refiere a un límite en el periodo de tiempo o el número de iteraciones o transmisiones en computadora antes de ser desechada.

¹⁹ Una interrupción consiste básicamente en detectar un evento y realizar algo en consecuencia.

²⁰ Asigna el valor de un pin de salida PWM. Los valores posibles están en el rango 0-255.

- V. LED: 13. Hay un LED empotrado conectado al pin digital 13. Cuando el pin está a valor HIGH, el LED está encendido, cuando el pin está a LOW, está apagado.

Arduino UNO tiene 6 entradas analógicas, cada una de las cuales proporciona 10 bits de resolución (por ejemplo 1024 valores diferentes). Por defecto miden 5 voltios desde tierra, aunque es posible cambiar el valor más alto de su rango usando el pin AREF y algún código de bajo nivel. Además, algunos pines tienen funcionalidad especializada:

- I. I²C: 4 (SDA) y 5 (SCL). Soportan comunicación I²C usando la *librería Wire*²¹.

Hay otro par de pines en la placa Arduino UNO:

- II. AREF. Voltaje de referencia para las entradas analógicas. Usado con *analogReference()*²².
- III. Reset. Pone esta línea a LOW para resetear el microcontrolador. Típicamente usada para añadir un botón de reset a dispositivos que bloquean a la placa principal.

2.3.5 Comunicación

Arduino UNO tiene un número de infraestructuras para comunicarse con un ordenador, otro Arduino, u otros microcontroladores. El ATmega328 provee comunicación serial UART TTL (5 V), la cual está disponible en los pines digitales 0 (Rx) y 1 (Tx). Un FTDI FT232RL en la placa canaliza esta comunicación serial al USB y a los drivers FTDI (incluidos en el software de Arduino) proporcionan un puerto de comunicación virtual al software del ordenador. El software de Arduino incluye un monitor serie que permite a datos de texto simple ser enviados a y desde la placa Arduino.

Una librería *SoftwareSerial()* permite comunicación serial en cualquiera de los pines digitales de la placa Arduino UNO.

El ATmega328 también soporta comunicación I²C (TWI) y SPI. El software de Arduino incluye una librería *Wire* para simplificar el uso del bus I²C²³.

²¹ Esta librería permite comunicarse con dispositivos I²C.

²² Sirve para hacer una conversión digital a una señal analógica.

²³ Tiene la función de simplificar la interconexión de dispositivos al microprocesador usando SCL y SDA.

2.3.6 Programación

Arduino UNO puede ser programado con el software de Arduino.

El ATmega328 de Arduino UNO viene con un bootloader²⁴ pregrabado que permite subir un nuevo código sin usar un programador de hardware externo.

2.3.7 Protección de sobrecarga del USB

Arduino UNO tiene un fusible reseteable que protege los puertos USB del ordenador de cortes y sobrecargas. Aunque la mayoría de los ordenadores proporcionan su propia protección interna, el fusible proporciona una capa de protección extra. Si más de 500 mA se aplican al puerto USB, el fusible automáticamente romperá la conexión hasta que el corte o la sobrecarga sean eliminados.

2.3.8 Características físicas

La longitud y anchura del Arduino UNO, son como máximo de 6.85 y 5.33 centímetros, respectivamente, con el conector USB y el conector de alimentación que se extiende más allá de las dimensiones anteriores. Cuatro orificios para tornillos que permitirá fijarla a una superficie. La distancia entre los pines 7 y 8 es de 0.4 centímetros.

2.3.9 Shields de Arduino

Un shield en Arduino es una placa que se apila sobre el Arduino o sobre otro shield, de forma que nos permite ampliar el hardware/capacidades de Arduino.

²⁴ Es un programa que toma el control del dispositivo cuando este está iniciando. Se encarga de asegurarse que todos los componentes del software están funcionando y son correctos.



Imagen 2-3. Shields de Arduino

Los shields se pueden comunicar con Arduino bien por algunos de los pines digitales o analógicos o bien por algún bus como el SPI, I2C o puerto serie, así como usar algunos pines como interrupción. Además estos shields se alimentan generalmente a través del Arduino mediante los pines de 5V Y GND.

Cada shield de Arduino debe tener el mismo factor de forma que el estándar de Arduino con un espacio de pines concreto par que solo haya una forma posible de encajarlo.

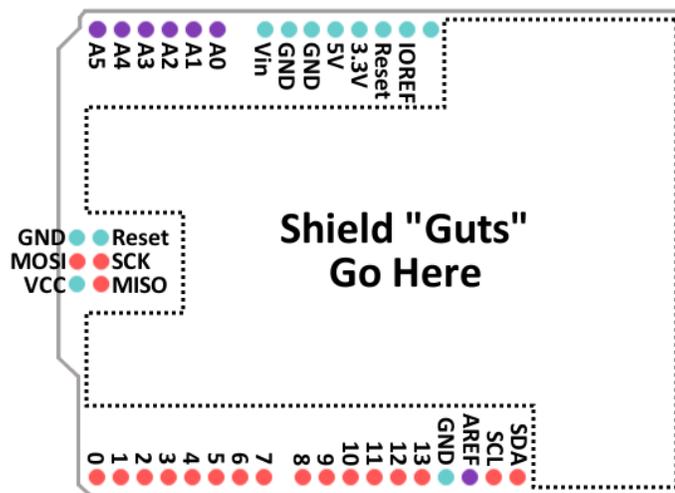


Imagen 2-4. Forma de un shield de Arduino

Se debe tener en cuenta que cuando se instale un shield, habrá que leer su documentación que nos dirá si habilita algunas de las entradas/salidas o si usa un bus, así mismo de los requisitos para su utilización. Generalmente los shields vienen con un ejemplo o una librería para su uso.

Los shields más importantes de Arduino:

- I. Ethernet Shield: Permite conectar la placa Arduino a Internet en cuestión de minutos, solo se tiene que conectar este módulo a la placa Arduino, conectar con un cable de red RJ45 y seguir una serie de instrucciones sencillas para empezar a controlar Arduino a través de Internet.

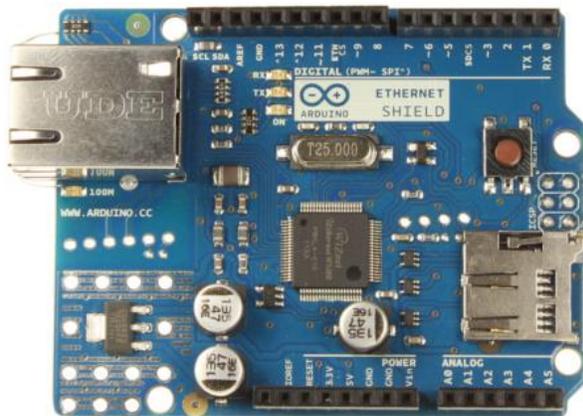


Imagen 2-5. Vista superior de Ethernet Shield

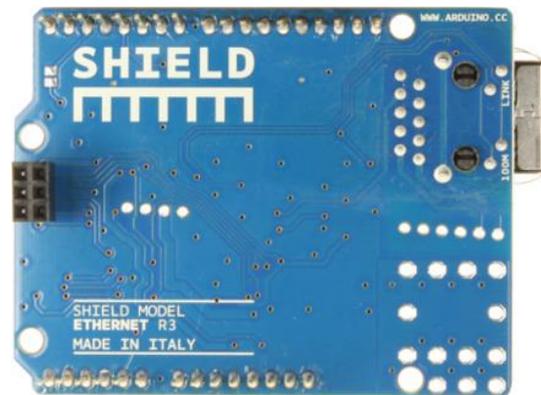


Imagen 2-6. Vista inferior de Ethernet Shield

- II. Arduino Wifi Shield: Su función es conectar la placa Arduino a Internet de manera inalámbrica, esto con una serie de pasos sencillos.

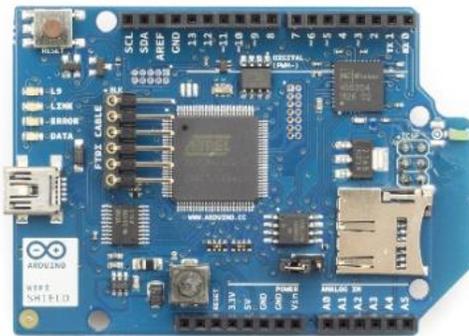


Imagen 2-7. Vista superior del Wifi Shield



Imagen 2-8. Vista inferior del Wifi Shield

- III. Arduino GSM shield: Conecta Arduino a Internet mediante GPRS, usando una tarjeta SIM. También permite enviar y recibir mensajes y llamadas de voz (SMS).



Imagen 2-10. Vista superior del GSM Shield

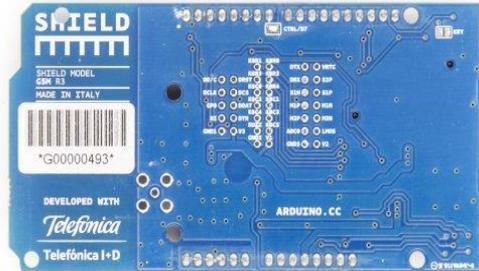


Imagen 2-9. Vista inferior del GSM Shield

- IV. Arduino Motor Shield: Permite manejar dos motores DC, controlando su dirección y velocidad. Está basado en un chip de doble puente H ST L298.

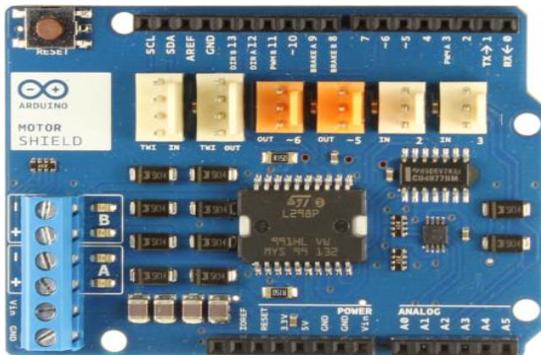


Imagen 2-12. Vista superior del Motor Shield

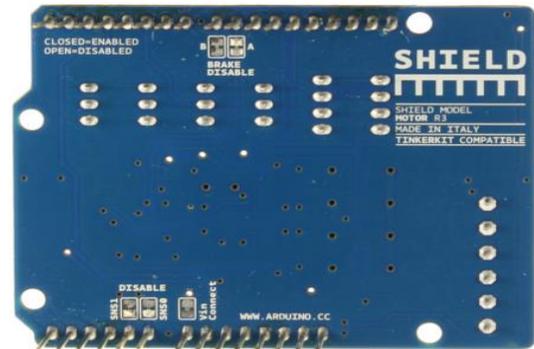


Imagen 2-11 Vista inferior del Motor Shield

V. Grove Shield: Facilita la conexión de sensores y actuadores.

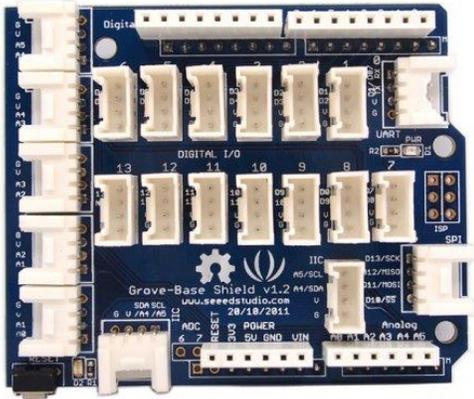


Imagen 2-14. Vista superior del Grove Shield

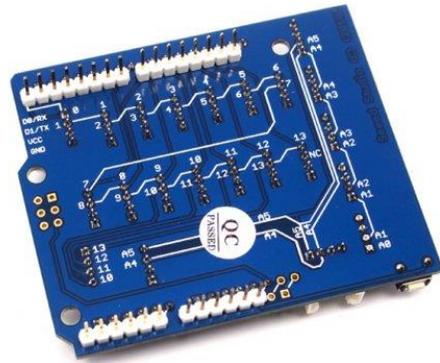


Imagen 2-13. Vista inferior del Grove Shield

VI. Relay Shield: Proporciona y relés para manejar dispositivos que no pueden controlarse directamente con las entradas/salidas de Arduino. Dispone de unos indicadores de uso de los relés.



Imagen 2-16. Vista superior del Relay Shield

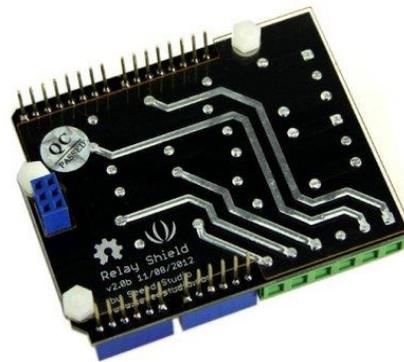


Imagen 2-15. Vista inferior del Relay Shield

VII. Bluetooth Shield: Permite la comunicación inalámbrica por bluetooth.

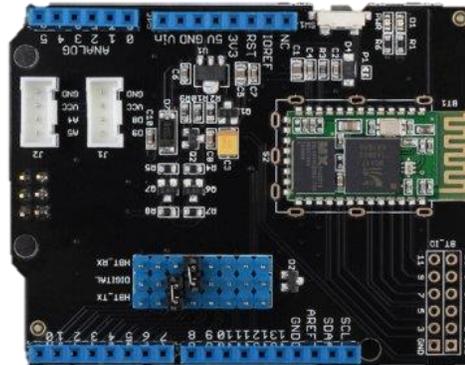


Imagen 2-17. Vista superior del Bluetooth Shield

En un caso extremo se pueden apilar muchos shields para un determinado fin, aunque no es recomendable hacerlo debido a las limitaciones en cuanto a la alimentación y a la memoria que requiere cada uno de estos shields.

2.4 El software de Arduino IDE (Integrated Development Environment)

El IDE de Arduino es un software que se ejecuta en cualquier ordenador que permita escribir código para la placa Arduino en un lenguaje relativamente sencillo.

El ciclo para programar en Arduino está compuesto por cuatro pasos según (Banzi, 2011):

- I. Conectar Arduino a un puerto USB del ordenador.
- II. Escribir un sketch (programa que ejecutará el microcontrolador).
- III. Cargar el sketch a la placa a través de una conexión USB y esperar un par de segundos.
- IV. Arduino ejecuta el sketch.

El software Arduino se puede ejecutar en cualquiera de los siguientes Sistemas Operativos: Windows, Mac OS X, GNU/Linux. El utilizado en esta tesis es el sistema operativo Windows 8. Para más información acerca de la instalación del IDE y del funcionamiento de la interfaz consultar el [Anexo 1](#).

2.5 Lenguaje de programación de Arduino

En cuanto al lenguaje de programación que utiliza la plataforma Arduino, está basado en programación Processing (lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de código abierto basado en Java), dentro de los atributos que ofrece esta plataforma es el desarrolló dentro de un entorno amigable para el usuario.

2.5.1 Estructura de un sketch

La estructura básica del lenguaje de programación de Arduino es bastante simple y se organiza en al menos dos partes o funciones que encierran bloques de declaraciones.

```
void setup ()
{
    statements;
}

void loop ()
{
    staments;
}
```

Ambas funciones son requeridas para que el programa funcione.

I. setup()

La función *setup* debería contener la declaración de cualquier variable al comienzo del programa. Es la primer función a ejecutar en el programa, es ejecutada una vez y es usada para asignar *pinMode* o inicializar las comunicaciones seriales.

```
void setup ()
{
    pinMode(pin, OUTPUT); // declara un "pin" como salida
}
```

II. loop ()

La función *loop* se ejecuta a continuación e incluye el código que se ejecuta continuamente leyendo entradas, activando salidas, etc. Esta función es el núcleo de todos los programas Arduino y hace la mayor parte del trabajo.

```
void loop ()
{
    digitalWrite(pin, HIGH); // Activa un "pin"
    delay (1000);           // Espera un segundo
    digitalWrite(pin,LOW); // Desactiva un "pin"
    delay (1000);           // Espera un segundo
}
```

2.5.2 Funciones en Arduino

Una función es un bloque de código que tiene un nombre y un grupo de declaraciones que se ejecutan cuando se llama a la función. Se puede hacer uso de funciones integradas como *void setup ()* y *void loop ()* o escribir nuevas.

Las funciones se escriben para ejecutar tareas repetitivas y reducir el desorden en un programa. En primer lugar se declara el tipo de la función, que será el valor retornado por la función. A continuación del tipo, se declara el nombre de la función y, entre paréntesis, los parámetros que se pasan a la función.

```
type functionName (parameters)
{
    statements;
}
```

2.5.3 Variables en Arduino

Una variable es una forma de llamar y almacenar un valor numérico para usarse después por el programa. Como su nombre indica, las variables son números que pueden cambiarse continuamente al contrario que las constantes, cuyo valor nunca cambia. Una variable necesita ser declarada y, opcionalmente, asignada al valor que necesita para ser almacenada.

```
int inputVariable=0;           //declara una variable y asigna el valor a 0  
  
inputVariable = analogRead(2); //ajusta la variable al valor del pin analógico 2
```

Declaración de una variable

Todas las variables tienen que ser declaradas antes de que puedan ser usadas. Declarar una variable significa definir su tipo de valor, como *int*, *float*, *etc.*, definir un nombre específico, y, opcionalmente, asignar un valor inicial. Esto sólo necesita hacerse una vez en un programa pero el valor puede cambiarse en cualquier momento usando aritmética y varias asignaciones.

```
int inputVariable=0;
```

2.5.4 Tipos de datos en Arduino

I. byte

Byte almacena un valor numérico de 8 bits sin puntos decimales. Tiene un rango de 0 a 255.

```
byte someVariable=180; // declara "someVariable" como un tipo byte.
```

II. int

Enteros son los tipos de datos primarios para almacenamiento de números sin puntos decimales y almacenan un valor de 16 bits con un rango -32768 a 32767.

```
int someVariable = 1500; // declara "someVariable" como tipo int
```

III. long

Tipo de datos de tamaño extendido para enteros largos, sin puntos decimales, almacenados en un valor de 32 bits con un rango de -2,146,483,648 a 2,147,483,647

```
long someVariable = 90000; // declara "someVariable" como tipo long
```

IV. float

Un tipo de datos para números en punto flotante, o números que tienen un punto decimal. Los números en punto flotante tienen mayor resolución que los enteros y se almacenan como valor de 32 bits con un rango de -3.4028235E+38 a 3.4028235E+38

```
float someVariable = 3.14; // declara "someVariable" como tipo float.
```

V. Arrays

Un array es una colección de valores que son accedidos como un índice numérico. Cualquier valor en el array debe llamarse escribiendo el nombre del array y el índice numérico del valor. Los arrays están indexados a cero, con el primer valor en el array comenzando con el índice número 0. Un array necesita ser declarado y opcionalmente asignarle valores antes de que puedan ser usados.

```
int myArray [] = {value0, value1, value2...};
```

2.5.5 Comunicación serial con Arduino

Arduino permite la comunicación con dispositivos a través de USB, este puerto utiliza un protocolo de comunicación serial. Arduino puede conectarse a un puerto COM para comenzar a enviar y recibir datos en serie, generalmente se utilizan 9600 bits por segundo (bps) con el IDE de Arduino serial, pero se pueden usar otras velocidades que están disponibles, por lo general hasta 115200 bps.

Regularmente en un ordenador se pueden tener múltiples dispositivos conectados a distintos puertos COM, por lo que en la interfaz se puede elegir el puerto correspondiente.

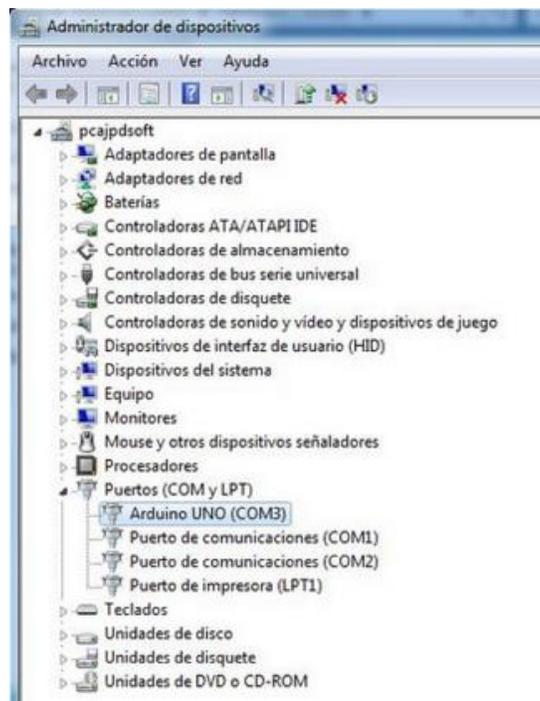


Imagen 2-18. Puerto COM3 donde se conecta Arduino

Para poder utilizar la comunicación serial dentro de un *sketch* es necesario indicarlo en la función *setup()*. La sintaxis para iniciarlo es *Serial.begin(9600);*.

2.6 Prueba del circuito con Arduino

Cuando todo el proceso de instalación en la placa con el software se ha realizado, el programador puede comenzar diseñando un sketch, en el cual está plasmada una idea de un objeto interactivo, este sketch realiza la lectura de valores a través de ciertos sensores, todo esto con el fin de tener una respuesta reflejada en distintos actuadores.

El ensamble de un prototipo viene acompañado tanto de un sketch como de un circuito, ambos requieren de un cierto cuidado al momento de su elaboración ya que al no construir de forma correcta la parte lógica del sketch no se tendrán los resultados esperados, de igual manera el circuito se debe de elaborar de forma que se acople correctamente a la lógica funcional.

Teniendo listas ambas partes (sketch y circuito), es necesario alimentar de corriente eléctrica al circuito, es decir, a cada uno de los componentes que lo requieran, en este punto se realiza una primera prueba donde pueden ocurrir diversos inconvenientes, ya sea del circuito o del sketch.

Arduino cuenta con sistemas de seguridad para evitar que alguno de sus componentes falle, un pequeño LED verde dentro de Arduino que permanece encendido desde que se alimenta de corriente permanecerá encendido mientras no exista alguna falla, pero, este se apagará al detectar una acumulación de energía, lo que indica inmediatamente quitar o desconectar la fuente de alimentación.

Para la solución de problemas en un circuito (Banzi, 2011) menciona que solo existe un método, trabajar paso a paso, depurar cada elemento y descartar todas las posibles fallas.

Para evitar cualquier inconveniente, antes de culpar al prototipo diseñado, se debe asegurar que todo esté en orden, desde el software y la conexión con el hardware hasta el sketch y el circuito. Por lo tanto, se pueden describir cuatro pasos en los cuales se tienen que seguir antes de revisar el prototipo.

- I. Asegurarse de que la fuente de alimentación esté encendida, esto realmente puede suceder. Si el LED verde marcado como PWR (power) se enciende, significa que todo está en orden. Si el LED parece muy débil, algo está mal con la fuente de poder, por lo tanto se puede probar con otro cable diferente o con otra fuente de alimentación.

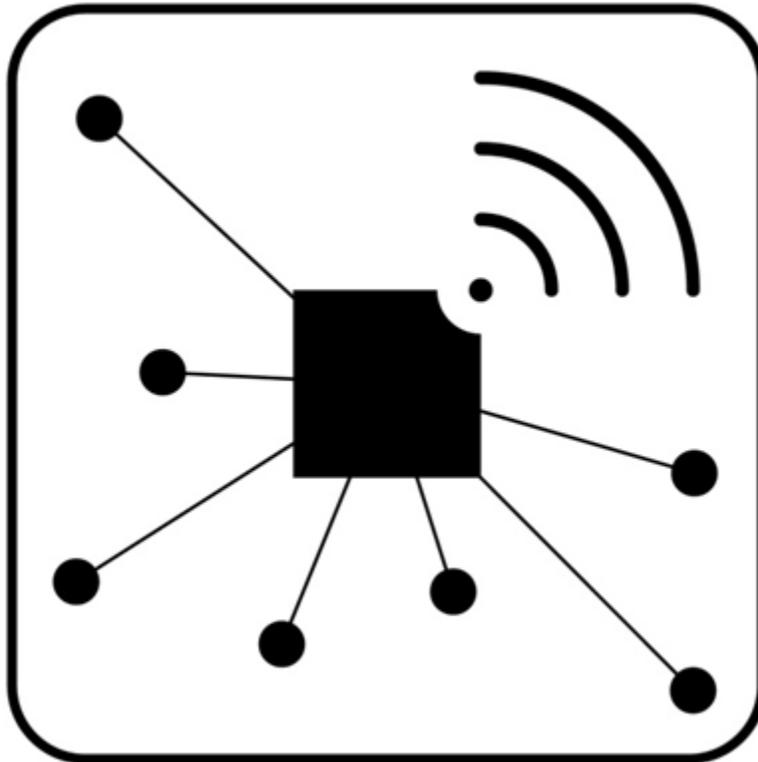
- II. Verificar que el puerto COM asignado a la placa sea el mismo que esta seleccionado en la interfaz del software de Arduino.

- III. Revisar la lógica del programa y compilar el sketch que se cargará a la placa Arduino.

- IV. Comprobar las conexiones de cada elemento perteneciente al circuito e ir depurando paso a paso un posible corto circuito.

Por último, para descartar una falla general en la plataforma, se puede cargar a la placa un programa básico y así comprobar el funcionamiento.

3. Sensores



El objetivo principal de este tercer capítulo, sensores; es que el lector obtenga un conocimiento profundo acerca de este tipo de dispositivos, debido a que es precisamente en este apartado donde se describirá el funcionamiento de todos los tipos de sensores que cumplen con los requisitos necesarios para crear un sistema de distribución de agua, así como la elección del mejor dispositivo que se adapte al desarrollo del prototipo y la implementación de un sensor magnético que sea capaz de obtener datos sobre la cantidad de flujo de agua que pasa por las tuberías en determinado lapso de tiempo; todo esto, con la meta de demostrar un ahorro a la hora de hacer la elección de dicho sensor.

3.1 Concepto

La siempre creciente automatización de los complejos sistemas de distribución de agua, necesita la utilización de componentes que sean capaces de adquirir y transmitir información relacionada con la presión dentro de las tuberías, nivel de agua y cantidad de líquido en la distribución de agua.

Los sensores cumplen con estos requerimientos, y por ello se han convertido en los últimos años en componentes cada vez más importantes en la tecnología de medición y de control de sistemas automatizados. Los sensores proporcionan la información al control en forma de variables individuales del proceso.

Las variables de estado de proceso son, por ejemplo, variables físicas como temperatura, presión, fuerza, longitud, ángulo de giro, nivel, caudal, etc.

Existen sensores para la mayoría de estas variables físicas, que reaccionan con cada una de ellas y transfieren las correspondientes señales.

Un sensor tiene las siguientes características:

- I. Un sensor es un convertidor técnico, que contiene una variable física (por ejemplo, temperatura, presión, distancia) en otra variable diferente, más fácil de evaluar (generalmente una señal eléctrica).
- II. Expresiones adicionales a los sensores son: codificadores, efectores, convertidores, detectores, transductores, etc.
- III. Dentro de un proceso controlado, los sensores representan los “perceptores” que supervisan el proceso, indicando los errores, recogiendo los estados y transmitiendo esta información a los demás componentes del proceso.

Por lo tanto (Bolton, 2005) define a los sensores como: “El término sensor se refiere a un elemento que produce una señal relacionada con la cantidad que se está midiendo. Con frecuencia se utiliza el término *transductor* en vez de sensor. Los transductores se definen como el elemento que al someterlo a un cambio físico experimenta un cambio relacionado. Es decir, los sensores son transductores. Sin embargo, en un sistema de medición se pueden utilizar transductores, además de sensores, en otras partes del sistema para convertir señales de una forma dada en otra distinta.”

Los siguientes términos se emplean para definir el funcionamiento de los transductores y, con frecuencia, el de los sistemas de medición como un todo.

- I. Rango y margen. El rango de un transductor define los límites entre los cuales puede variar la entrada. El margen es el valor máximo de la entrada menos el valor mínimo.
- II. Error. El error es la diferencia entre el resultado de una medición y el valor verdadero de la cantidad que se mide.
- III. Exactitud. La exactitud es el grado hasta el cual un valor producido por un sistema de medición podría estar equivocado. Es por lo tanto, igual a la suma de todos los errores posibles más el error en la exactitud de la calibración del transductor.
- IV. Sensibilidad. La sensibilidad es una relación que indica qué tanta salida se obtiene por unidad de entrada, es decir, salida/entrada.
- V. Error por histéresis. Los transductores pueden producir distintas salidas de la misma magnitud que se mide, si dicha magnitud se obtuvo mediante un incremento o una reducción continuos. A este efecto se le conoce como histéresis.
- VI. Error por no linealidad. Para muchos transductores se supone que en su rango de funcionamiento la relación entre la entrada y la salida es lineal, es decir, la gráfica de la salida respecto a la entrada produce una línea recta. Sin embargo, son pocos los transductores en los que la relación anterior es realmente una línea recta; por ello, al suponer la existencia de esta linealidad se producen errores. Este error se conoce como desviación máxima respecto a la línea recta correspondiente.
- VII. Repetibilidad/Reproducibilidad. Los términos repetibilidad y reproducibilidad se utilizan para describir la capacidad del transductor para producir la misma salida después de aplicar varias veces el mismo valor de entrada. Cuando ya no se logra obtener la misma salida después de aplicar el valor de entrada, el error se expresa como un porcentaje de la salida a rango total.
- VIII. Estabilidad. La estabilidad de un transductor es su capacidad para producir la misma salida cuando se emplea para medir una entrada constante en un periodo. Para describir el cambio en la salida que ocurre en ese tiempo, se utiliza el término *deriva*. Ésta se puede expresar como un porcentaje del rango de la salida total. El término *deriva del cero* se refiere a los cambios que se producen en la salida cuando la entrada es cero.
- IX. Banda/tiempo muerto. La banda muerta o espacio muerto de un transductor es el rango de valores de entrada durante los cuales no hay salida. El tiempo muerto es

el lapso que transcurre desde la aplicación de una entrada hasta que la salida empieza a responder y a cambiar.

- X. Resolución. Cuando la entrada varía continuamente en todo el rango, las señales de salida de algunos sensores pueden cambiar a pequeños intervalos. La resolución es el cambio mínimo del valor de la entrada capaz de producir un cambio observable en la salida. Para sensores con salida digital, el cambio mínimo de la señal de salida sería de 1 bit.
- XI. Impedancia de salida. Cuando un sensor que produce una salida eléctrica se vincula con un circuito electrónico, es necesario conocer la impedancia²⁵ de salida dado que ésta se va a conectar en serie o en paralelo con dicho circuito. Al incluir el sensor, el comportamiento del sistema con el que se conecta podría modificarse de manera considerable.

3.1.1 Características estáticas y dinámicas

Las *características estáticas* son los valores obtenidos cuando se presentan condiciones de estado estable, es decir, valores obtenidos una vez que el transductor se estabiliza después de recibir cierta entrada. La terminología anterior se refiere a este tipo de estado. Las *características dinámicas* se refieren al comportamiento entre el momento en que cambia el valor de entrada y cuando el valor que produce el transductor logra su valor de estado estable. Las características dinámicas se expresan en función de la respuesta del transductor a entradas con determinadas formas.

- I. Tiempo de respuesta. Es el tiempo que transcurre después de aplicar una entrada constante, una entrada escalón, hasta que el transductor produce una salida correspondiente a determinado porcentaje, como 95 % del valor de la entrada.
- II. Constante de tiempo. Es el 63.2 % del tiempo de respuesta. La constante de tiempo es una medida de la inercia del sensor y de qué tan pronto reaccionará a los cambios en su entrada; cuanto mayor sea la constante de tiempo más lenta será su reacción ante una señal de entrada variable.

²⁵ La impedancia es la oposición al paso de la corriente alterna.

- III. Tiempo de subida. Es el tiempo que requiere la salida para llegar a un porcentaje especificado de la salida en estado estable. Es común que el tiempo de subida se refiera al tiempo que tarda la salida en subir de 10 % a 90 % o 95 % del valor en estado estable.
- IV. Tiempo de estabilización. Es el tiempo que tarda la salida en estabilizarse a un porcentaje de un valor determinado.

3.2 Clasificación

Según su funcionamiento los sensores se pueden clasificar en diversos tipos. Según su aporte de energía se pueden dividir en moduladores (activos) y generadores (pasivos), donde los primeros se caracterizan por utilizar una fuente de energía auxiliar para alimentar la señal de salida y los pasivos donde la energía auxiliar para alimentar la señal de salida y los pasivos donde la energía de la señal de salida es suministrada por la entrada.

Otra clasificación se hace según el tipo de señal a ser sensada la cual puede ser analógica o digital. En los sensores analógicos la salida varía de manera continua, encontrándose la información en la amplitud y algunas veces en la frecuencia. En cambio los sensores digitales proporcionan una salida discreta.

Clasificándolos según su funcionamiento se pueden clasificar en sensores de deflexión o de comparación. En los primeros, como su nombre lo indica, trabajan con la deflexión de un material. Es decir, la deformación de un material, se emplea para medir una magnitud física. En cambio en los sensores de funcionamiento por comparación, se busca que la deflexión del material, lo cual se logra con la aplicación de una fuerza opuesta a la aplicada por la fuerza a medir.

La tabla 3-1 muestra un resumen de la clasificación de los sensores antes mencionados.

Criterio	Clase
Aporte de energía	Moduladores Generadores
Señal de salida	Analógicos Digitales
Modo de operación	Deflexión Comparación

Tabla 3-1. Clasificación de los sensores

3.3 Tipos de sensores

La respuesta que proporciona un sensor depende de la magnitud física que puede ser detectada y “traducida” en una variación eléctrica y del principio físico en que se base.

3.3.1 Sensores de longitud

Los sensores usados para medir longitud son los sensores de desplazamiento, los cuales tienen la precisión para medir desde unos cuantos micrómetros hasta unos metros. Estos son de dos tipos: ópticos y eléctricos.

Un transductor de desplazamiento eléctrico como el mostrado en la imagen 3-1, que consiste en un potenciómetro el cual está conectado al objeto que se desplaza, el cual al moverse varía la resistencia del mismo y por lo tanto es posible calcular de manera electrónica el cambio de posición que es proporcional al cambio de posición.

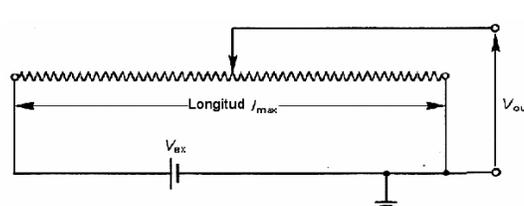


Imagen 3-1. Transductor de desplazamiento eléctrico

La otra gran categoría de sensores de desplazamiento es la de los ópticos. Este tipo de dispositivos se ha vuelto popular en los últimos años, en parte porque la mayoría cuentan con salidas digitales y también porque son inmunes a interferencia eléctrica. El principal tipo de detector óptico de desplazamiento es el que funciona con decodificadores de posición.

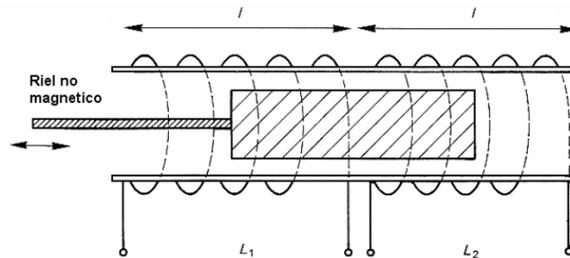


Imagen 3-2. Transductor de desplazamiento óptico.

3.3.2 Sensores de temperatura

Un tipo de sensores empleados para medir las temperaturas son los basados en resistencias térmicas, que no son más que metales puestos dentro de distintos encapsulados no conductores como el vidrio. Por lo general los metales escogidos son cobre, platino y níquel. La resistencia normal varía entre unos cuantos ohms y kilohms, siendo 100Ω uno de los valores más comunes.

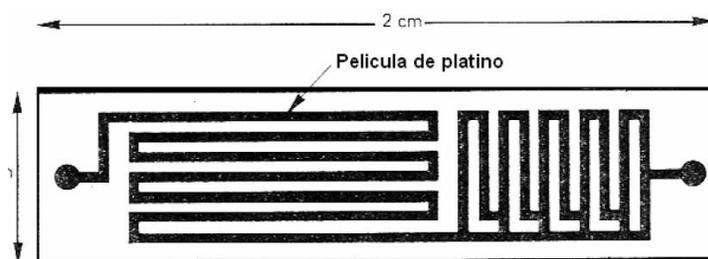


Imagen 3-3. Sensor de temperatura.

Estos dispositivos son usados para temperaturas desde $-200 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $300 \text{ }^\circ\text{C}$ para el caso de los basados en níquel y cobre, en el caso de los de platino pueden llegar hasta los $900 \text{ }^\circ\text{C}$. Su mayor ventaja es que son bastante estables y se pueden representar de forma lineal.

3.3.3 Sensores de flujo y/o caudal

La medición de flujo continuo tiene lugar a medida que el líquido fluye a través de la tubería, lo que permite una verificación constante de la medición así como su indicación, registro y control automático del flujo de fluidos a través de una tubería.

La cantidad de fluido que pasa a través de una sección por unidad de tiempo no se mide directamente, se determina por correlación entre otros factores. Está basada en el uso de medidores de flujo y la cantidad o volumen se establece como el resultado de la integración del gasto durante un periodo de tiempo determinado en masa o en volumen.

Es flujo es el movimiento de un fluido por un conducto abierto o cerrado, mientras que caudal es la cantidad del mismo que fluye por unidad de tiempo por el conducto.

El caudal correspondiente a un volumen de agua por unidad de tiempo, siendo las unidades de medición más utilizadas, las siguientes:

Unidades de medición de caudal	Símbolo
Litros por segunda	L/s
Litros por minuto	L/min
Litros por hora	L/h
Metros cúbicos por hora	m ³ /h

Tabla 3-2. Volumen de agua por unidad de tiempo

Los métodos para la medición de flujo se clasifican en dos grupos

I. Métodos directos

a. Medidores de desplazamiento positivo

Los medidores de desplazamiento positivo operan atrapando un volumen unitario y conocido de líquido, desplazándolo desde la entrada hasta la salida, y contando el número de volúmenes desplazados en un tiempo determinado. También se suelen conocer con el nombre de contadores porque contabilizan el volumen de líquido independientemente del tiempo transcurrido.

Estos medidores en general permiten la medición de cualquier proceso como:

- i. Procesos químicos, petroquímicos y carboquímicos
- ii. Medición de oleoductos, productos crudos y refinados.
- iii. Producción en campo de petróleo y productos refinados.
- iv. Procesos de productos alimenticios.
- v. Procesos de productos farmacéuticos.
- vi. Entrega de combustible de tipo gas licuado, entre otros.

En cada medidor resaltan tres componentes:

- i. Cámara: es la que se encuentra llena de fluido.
- ii. Desplazador: Bajo la acción del fluido circulando, transfiere el fluido desde el final de una cámara a la siguiente.
- iii. Mecanismo (indicador o registrador): Cuenta en número de veces el movimiento del desplazador.

b. Medidores de velocidad

i. Turbina

Consiste de un juego de paletas o aspas acopladas a un eje, las cuales giran cuando pasa un fluido a través de ellas. La velocidad a la cual giran estas aspas es proporcional a la velocidad del flujo, y si tenemos la velocidad y el área del conducto se puede determinar el caudal. Las turbinas deben instalarse de tal modo que no se vacíe cuando cesa el gasto ya que el choque del agua a alta velocidad contra el medidor vacío lo dañaría seriamente.

Para captar la velocidad de la turbina existen dos tipos de convertidores:

1. Reluctancia: La velocidad de la turbina viene determinada por el paso de los alabes individuales a través del campo magnético creado por un imán permanente montado en la bobina captadora exterior. El paso de cada alabe varía la reluctancia del circuito magnético, esta variación cambia el flujo inducido en la bobina captadora produciéndose una corriente alterna proporcional a la velocidad de la turbina.
2. Inductivo: El rotor lleva incorporados un imán permanente y el campo magnético giratorio que se origina produce una corriente alterna en una bobina captadora exterior.

Para estos dos convertidores el rotor de turbina genera la frecuencia la cual es proporcional al caudal, siendo del orden a 250 a 1200 ciclos por segundos para caudal máximo.

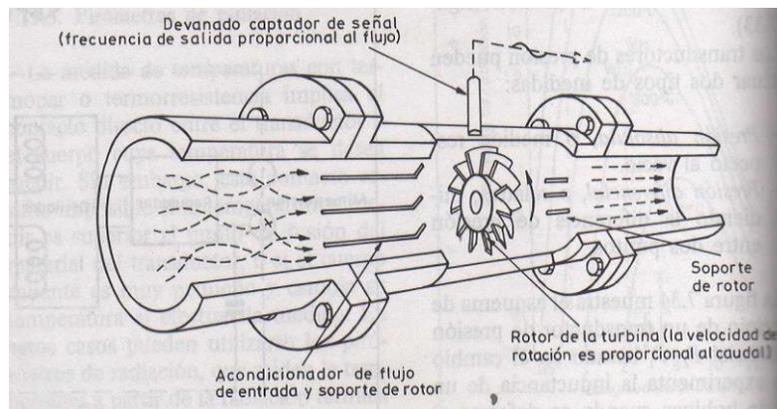


Imagen 3-4. Sensor de velocidad de flujo tipo turbina.

ii. Medidores electromagnéticos

Se basan en la ley de inducción electromagnética de Faraday: “el voltaje inducido en un conductor que se mueve en un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor, dimensión del conductor y fuerza del campo magnético”.

Con este principio, se hace pasar un fluido conductor a través de un campo magnético producido por un conjunto de bobinas sujetas al exterior de la tubería, generando un voltaje perpendicular al flujo y al campo magnético (Imagen 3-5). Este voltaje es proporcional a la longitud del conductor, a la densidad del campo magnético y a la velocidad con que atraviesa el conductor este campo magnético, y como se sabe el área de la tubería se determina el gasto en ese instante.

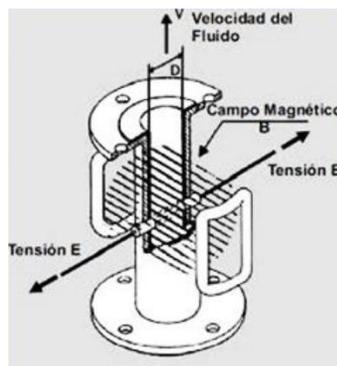


Imagen 3-5. Sensor electromagnético de flujo de agua

El medidor consta de:

1. Tubo de caudal
 - i. El propio tubo (de material no magnético) recubierto de material no conductor (para no corto-circular el voltaje inducido)
 - ii. Bobinas generadoras del campo magnético
 - iii. Electrodo detectores del voltaje inducido en el fluido.
2. Transmisor
 - i. Alimenta eléctricamente a las bobinas.
 - ii. Elimina el ruido del voltaje inducido.
 - iii. Convierte la señal (mV) a la adecuada a los equipos de indicación y control (mA, frecuencia, digitales).

En esta clasificación de sensores magnéticos entra el sensor utilizado para el desarrollo de esta Tesis, el sensor de flujo por efecto Hall.

iii. Sensor de efecto Hall

Cuando un haz de partículas cargadas atraviesa un campo magnético existen fuerzas que actúan sobre las partículas, y la trayectoria lineal del haz se deforma. Cuando una corriente fluye a través de un conductor se comporta como un haz de partículas en movimiento, por lo que al pasar por un campo magnético esta corriente se puede desviar. Este efecto fue descubierto por E.R. Hall en 1879 y se conoce como *Efecto Hall*.

Por lo general los sensores de efecto Hall están incorporados en un circuito integrado con los circuitos necesarios para procesar señales. Existen dos tipos básicos de este sensor: tipo lineal, donde la salida varía de manera razonablemente lineal con la densidad de flujo magnético (imagen 3-7) y tipo umbral, en el que la salida cae en forma brusca cuando se presenta una densidad de flujo magnético determinada (imagen 3-6).

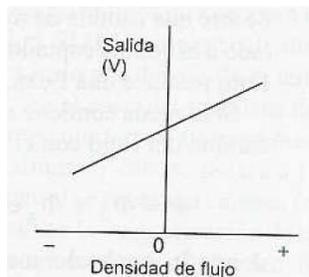


Imagen 3-7. Sensor de efecto Hall de tipo lineal

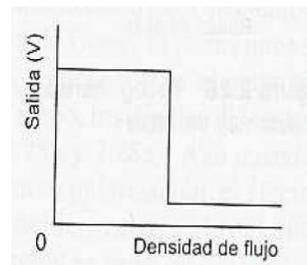


Imagen 3-6. Sensor de efecto Hall de tipo Umbral

Los sensores de efecto Hall tienen la ventaja de funcionar como interruptores capaces de operar hasta a una frecuencia de repetición de 100 kHz, cuestan menos que los interruptores electromecánicos y no presentan los problemas relacionados con el rebote de los interruptores de contacto, necesitan, entonces, una secuencia de contactos y no sólo un contacto. El sensor de efecto Hall es inmune a los contaminantes ambientales y trabaja en condiciones de servicio severas.

Estos sensores sirven como sensores de posición, desplazamiento y proximidad cuando se dota al objeto que se desea detectar con un pequeño imán permanente.

iv. Sensor de flujo (Caudalímetro tipo turbina)

El YF-S201 es un sensor de flujo de construcción sólida el cual está constituido por un cuerpo de plástico, un rotor, y un sensor de efecto Hall. El diseño y funcionamiento de este tipo de sensores es simple. Utiliza un sensor primario tipo molinete, con aspas o álabes²⁶ para medir la cantidad de líquido que se ha movido a través de él. El molinete tiene en el mismo eje un pequeño imán y hay un sensor magnético de efecto Hall en el otro lado del tubo que registra cada vuelta generando impulsos de salida a una velocidad proporcional a la velocidad de flujo. La flecha sobre el sensor indica la dirección de flujo. Es decir, que el sentido en que pasa el agua debe ser de izquierda a derecha. Sus características se muestran en la tabla 3-3.

²⁶ Un álabe de una turbina es una paleta, generalmente de metal que recibe el impacto (empuje) de un fluido ya sea de agua, vapor o gas con cierta velocidad y presión y que por su forma (alabeada) curva y por ser parte de un rotor (que tiene varios álabes) transforma la energía recibida en el giro de una masa muy grande (el rotor); posteriormente esta energía se puede usar de varias formas, una de ellas es en la producción de energía eléctrica cuando el rotor está acoplado a un generador eléctrico.



Imagen 3-9. Sensor de caudalímetro tipo turbina



Imagen 3-8. Álabes dentro del sensor

Modelo	YF-S201
Corriente	< 15mA
Salida	Señal de frecuencia a 5 VDC Nivel alto del pulso de salida: $\geq 4.6V$ (DC5V) Nivel bajo del pulso de salida: $\leq 0.5V$ (DC5V)
Sensor primario	Molinete de 8 álabes
Sensor secundario	Efecto Hall
Voltaje de trabajo	5 a 18 VDC
Máxima corriente de trabajo	15mA a 5 VDC
Rango de entrada	1 – 30 LPM
Rango de Temperatura de trabajo	-25 a +80 °C

Rango de humedad de trabajo	35 % - 80 % RH
Precisión	± 2 %
Posición de operación	Vertical
Presión máxima de trabajo	2 Mpa
Ciclo de trabajo de salida	50 % ± 10 %
Tiempo de subida de la señal de salida	0.04us
Tiempo de bajada de la señal de salida	0.18us
Característica estática	$F(\text{Hz}) = 7.5 \times Q(\text{LPM})$
Pulsos por litro	450
Tiempo de vida útil	Mínimo 300000 ciclos
Longitud cable de conexión	Aproximadamente 15 cm
Detalle de los cables de conexión	Rojo: Positivo de la alimentación (IN) Negro: Negativo de la alimentación (GND) Amarillo: Señal de salida (OUT)
Conexión de entrada de caudal	Tubería de ½'', 0.78'' diámetro externo, roscado de ½''

Tabla 3-3. Características del sensor de flujo de caudalímetro tipo turbina

v. Medidores Vortex

La introducción de un cuerpo romo²⁷ en la corriente (número de imagen) provoca un fenómeno de la mecánica de fluidos conocido como vórtice o torbellino (efecto de Von Karman²⁸). Los vórtices son áreas de movimiento circular con alta velocidad local. La frecuencia de aparición de los vórtices es proporcional a la velocidad del fluido. Los vórtices causan áreas de presión fluctuante que se detectan con sensores.



Imagen 3-10. Sensor de medición Vortex

vi. Medidores ultrasónicos o de ultrasonidos

Emplean ondas ultrasónicas para determinar el gasto, son buenos para medir líquidos altamente contaminados o corrosivos, porque se instalan exteriormente en la tubería.

Existen dos tipos de medidores ultrasónicos utilizados, fundamentalmente, para la medición de flujo en tuberías.

²⁷ Que no tiene punta o que no la tiene aguda.

²⁸ Este principio de medición se basa en el hecho de que corriente debajo de un obstáculo se forman vórtices en el fluido, tanto en una tubería cerrada como en un canal abierto.

1. Medidores ultrasónicos por impulsos: Como su nombre lo dice, utilizan la transmisión por impulsos.

Los medidores ultrasónicos modulados por impulsos se utilizan, preferentemente, como líquidos limpios. El método diferencial de medida por tiempo de tránsito, se basa en la emisión de dos impulsos ultrasónicos diagonales y simultáneos, mediante dos transmisores emisor – receptor, que reflejan en la tubería. La diferencia de tiempo para el mismo camino recorrido depende de la velocidad del flujo. (Imagen 3-11).

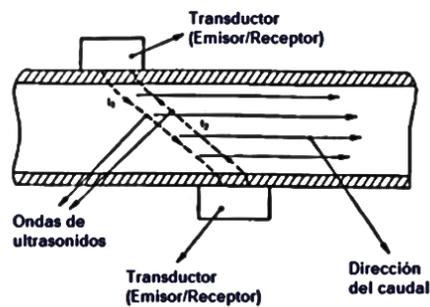


Imagen 3-11. Medidor de caudal por ultrasonidos

2. Medidores ultrasónicos utilizando el efecto Doppler: Usan la transmisión continua de ondas.

Los medidores ultrasónicos de tipo Doppler utilizan el concepto de que si se deja pasar el ultrasonido en un fluido en movimiento con partículas, el sonido será reflejado de nuevo desde las partículas. La variación de frecuencia del sonido reflejado será proporcional a la velocidad de las partículas.

El efecto Doppler puede entenderse fácilmente si se considera el cambio que se produce en la frecuencia cuando un tren se mueve hacia un observador con su bocina sonando. Cuando el tren se acerca, la bocina es percibida por el observador con una graduación de tono más alta, ya que la velocidad del tren da lugar a que las ondas sonoras sean más próximas que si el tren estuviera parado. De igual manera, si el tren se aleja aumenta el espaciamiento, dando como resultado una graduación de tono o frecuencia más baja. Este aparente cambio en la frecuencia se denomina efecto Doppler y es directamente proporcional a la velocidad relativa entre el objeto móvil, el tren y el observador.

c. Medidores máscicos

Los medidores de gasto máscicos están diseñados para medir directamente el gasto del fluido en unidades de masa, como por ejemplo Kg/h, en lugar de medir el gasto en volumen, como m³/h.

i. Medidor máscico térmico

Los medidores térmicos, también llamados medidores de gasto Thomas, se basan comúnmente en dos principios físicos:

1. La elevación de temperatura del fluido en su paso por un cuerpo caliente.
2. La pérdida de calor experimentada por un cuerpo caliente inmerso en el fluido.

El funcionamiento de estos dispositivos consta de una fuente eléctrica de alimentación de precisión que proporciona un calor constante al punto medio del tubo por el cual circula el gasto. En puntos equidistantes de la fuente de calor se encuentran sondas de resistencia para medir la temperatura como se muestra en la imagen 3-12.

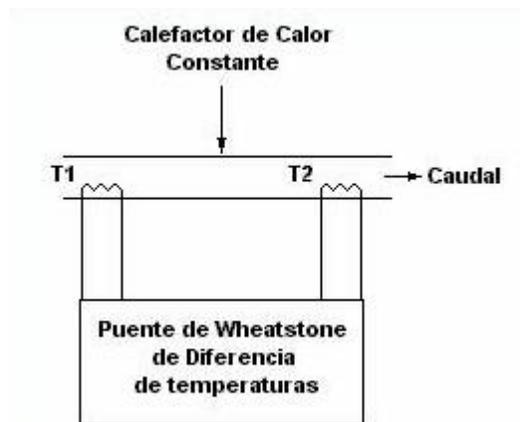


Imagen 3-12. Medidor másico térmico

Cuando el fluido está en reposo, la temperatura es idéntica en las dos sondas.

Cuando el flujo circula, transporta una cantidad de calor hacia el segundo elemento de medición T_2 , y se presenta una diferencia de temperaturas que va aumentando progresivamente entre las dos sondas a medida que aumenta el gasto. Esta diferencia es proporcional a la masa que circula a través del tubo.

El sistema está conectado a un puente de Wheatstone que determina la diferencia de temperaturas y la amplifica con una señal de salida de 0 a 5 Vcc. (voltaje de entrada o alimentación) en 1000 ohmios de impedancia.

ii. Medidor de Coriolis

La medición de gasto por el efecto Coriolis, también conocido como medición directa o dinámica, da una señal directamente proporcional al gasto másico y casi independiente de las propiedades del producto como conductividad, presión, viscosidad o temperatura.

La fuerza Coriolis aparece siempre y cuando se trata de una superposición de movimientos rectos con movimientos giratorios. Para el uso industrial de su principio se sustituye el movimiento giratorio por una oscilación mecánica. Dos tubos de medición por donde pasa el producto oscilan en su frecuencia de resonancia.

El gasto másico provoca un cambio en la fase de oscilación entre la entrada y la salida del equipo. Este desfase es proporcional al gasto másico y crea después de una amplificación correspondiente la señal de salida. Las frecuencias de resonancia de los tubos de medición dependen de la masa oscilante en los tubos y por lo tanto de la densidad del producto.

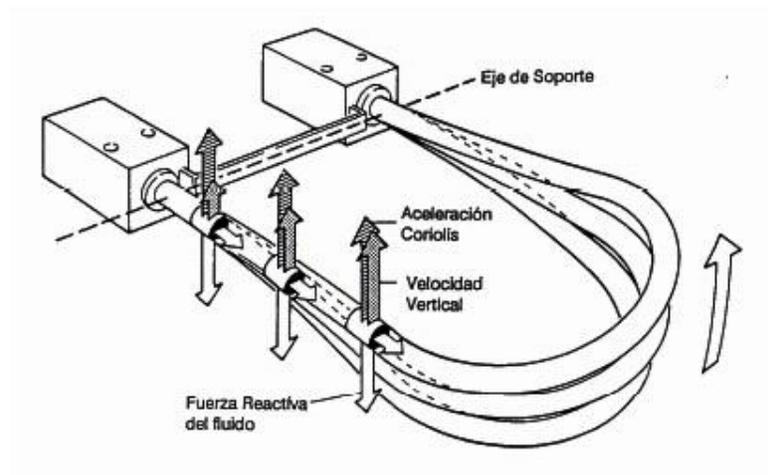


Imagen 3-13. Representación del medidor Coriolis y velocidad del flujo en el extremo de la entrada del sensor.

En un medidor se utiliza la oscilación en lugar de una velocidad angular constante y los dos tubos de medida paralelos con fluido en su interior se hacen oscilar desfasadamente de modo que actúan como una horquilla vibrante.

II. Métodos indirectos

a. Medidores de flujo de tipo diferencial

Este tipo de medidores se basa en la relación que existe entre la velocidad del fluido y la pérdida de presión, al pasar éste a través de una restricción en la tubería.

La restricción, llamada elemento primario de medición, hace que el fluido se contraiga y ya que el flujo permanece constante, la velocidad de éste aumenta al pasar por la restricción y la presión estática disminuye al mismo tiempo según la ley de la conservación de la energía. Si colocamos una serie de tomas para medir la presión estática en la tubería antes y después de la restricción, en la imagen 3-14, se observa lo siguiente: hay un ligero aumento de ésta presión antes de llegar a la restricción, después de ésta, disminuye, volviendo a recuperarse esta presión pero no en su totalidad.

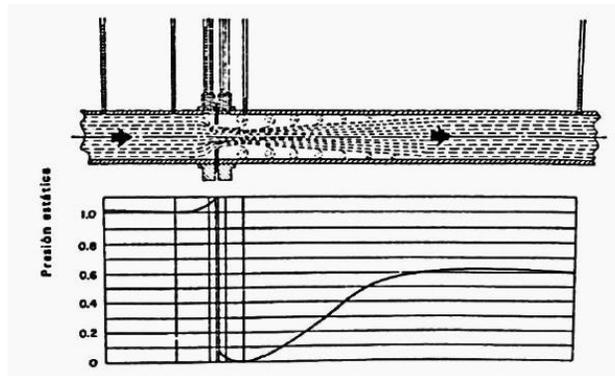


Imagen 3-14. Medidor de flujo de tipo diferencial

La presión entre las presiones antes y después de la restricción se llama diferencial de presión, la cual representa el índice de velocidad del fluido. Esta presión diferencial es medida y convertida a unidades de flujo por medio de un elemento secundario de medición.

b. Tubo Venturí

Es utilizado para medir líquidos, gases y fluidos que contienen sólidos en suspensión. Su instalación no presenta mayor problema que cualquier otro tipo de tubo del tipo común y corriente.

Se componen de tres partes bien diferenciadas, una sección de entrada cónica convergente en la que la sección transversal disminuye, lo que se traduce en un aumento de la velocidad del fluido y la disminución de la presión, una sección cilíndrica en la que se sitúa la toma de baja presión, y donde la velocidad del fluido se mantiene prácticamente constante, y por último una tercera sección de salida cónica divergente en la que la sección transversal aumenta disminuyendo la velocidad y aumentando la presión. Esta última sección permite la recuperación de parte de la presión y por lo tanto de energía, como se muestra en la imagen 3-15.

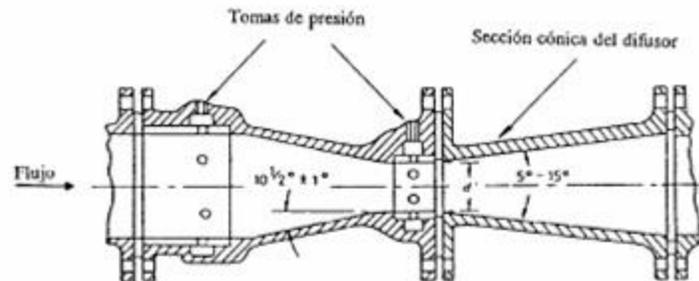


Imagen 3-15. Tubo Venturi

c. Tobera de flujo

Se usa para fluidos grandes en donde una placa de orificio no sería suficientemente exacta ya que la relación de diámetros (d/D) (imagen 3-16) mayor de 0.6 a 0.7 para la placa de orificio, no es recomendable, puesto que se convierte en inexacta. Por consecuencia cuando el gasto es grande se recomienda usar la tobera de flujo que para la misma diferencia de presiones deja pasar mayor flujo con relación a la placa de orificio del mismo diámetro ya que permite mediciones de 60 a 65 % más altas.

Es de mayor costo que las placas de orificio, pero ocasionan menores pérdidas de presión permanentes.

Su aplicación principal es donde existan altas presiones y medición de grandes volúmenes de flujo.

En la tobera de flujo se necesita menor tramo de tubería recta antes y después del elemento primario; ya que la tobera necesita una abertura menor, se necesita menos longitud de tubo recto.

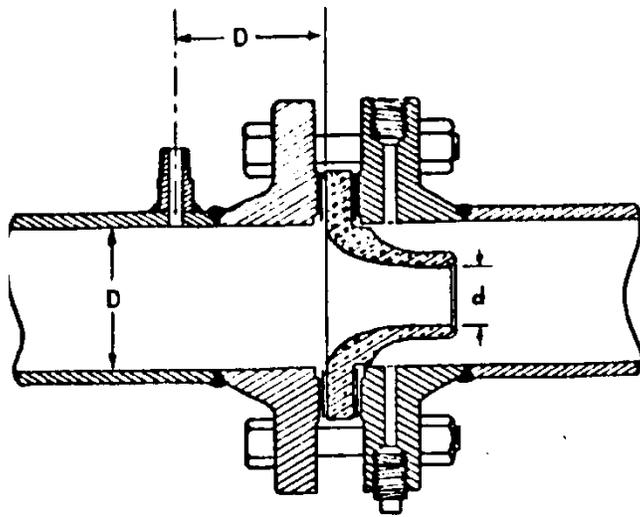


Imagen 3-16. Tobera de flujo

d. Tubos Pitot

Otro de los elementos primarios de medición para medir flujo es el tubo de Pitot, frecuentemente usado en la industria para su bajo costo para líneas de gran tamaño y por sus bajas pérdidas de presión.

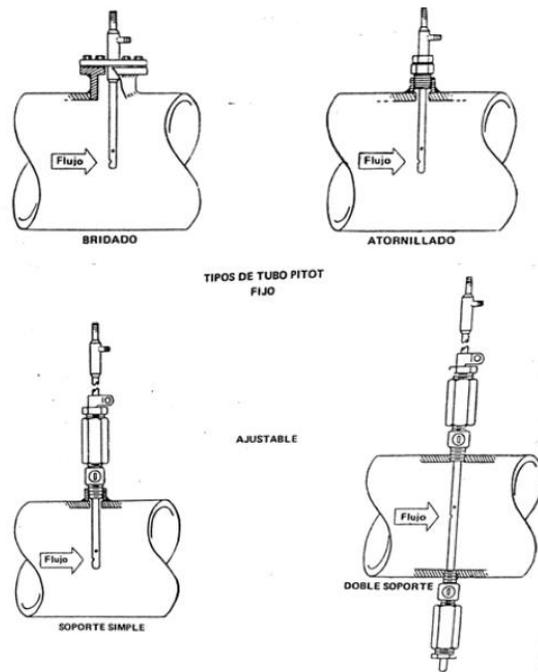


Imagen 3-17. Tubo Pitot

El tubo Pitot es un instrumento destinada a la medición de flujo a través de la cuantificación de la velocidad de flujo. El tubo Pitot se inserta en la línea donde se desea medir el flujo. Tiene 2 tomas de presión: Una que va a medir la presión dinámica, la cual recibe el impacto del flujo, por lo tanto, ésta toma de presión queda con su cara directamente contra el flujo que se desea medir; la otra toma de presión abierta en ángulo recta queda en la dirección del flujo de tal manera que detecta la presión estática.

Este elemento primario mide solamente el flujo en el punto donde la toma dinámica y estática están expuestas, por lo tanto, cuando la distribución de la velocidad de flujo no es uniforme, no es recomendable, así como cuando se usan líquidos que contienen sólidos en suspensión.

Las dos tomas se conectan en su parte superior a un medidor de tipo diferencial, el cual nos arroja directamente la lectura de la carga de velocidad.

e. Placas de orificio

Esta es la forma más común de reducción del área de circulación para producir diferencia de presiones y sus ventajas son:

- i. Máxima pérdida de presión permanente.
- ii. Es el más comúnmente usado.
- iii. Más fácil de instalar.
- iv. Fácilmente reproducible.
- v. Requiere inspección periódica.
- vi. Es el de más bajo costo.

Éste tipo de elemento primario de medición para medir flujo es una placa delgada de metal con una abertura generalmente redonda y concéntrica como se muestra en la imagen 3-18.



Imagen 3-18. Placa metálica de orificio.

Existen el tipo excéntrico con la abertura en la parte baja de la placa y el segmental como el representado en la imagen 3-19; los dos últimos son útiles cuando el líquido que se maneja lleva sólidos en suspensión que pueden depositarse en la placa de orificio de lado de alta presión modificando las características de flujo y produciendo errores.

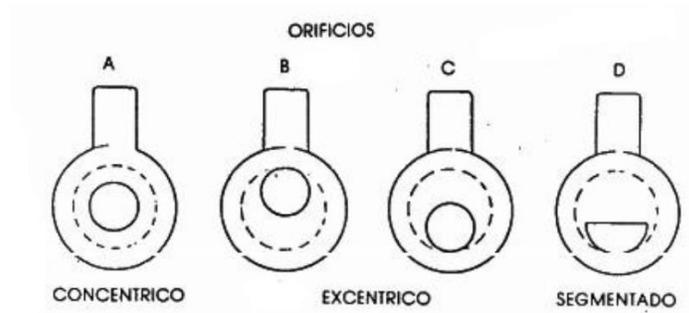


Imagen 3-19. Placa de orificios segmentada.

La placa de orificio debe tener la resistencia necesaria para evitar deformaciones bajo presiones diferenciales ordinarias.

Principales ventajas:

- i. Sencillez de construcción, no hay partes móviles
- ii. Tecnología sencilla
- iii. Baratos para grandes dimensiones de tuberías
- iv. Válidos para casi todas las aplicaciones.

Principales desventajas:

- i. No válidos para condiciones de proceso (presión, temperatura, densidad, entre otros) cambiantes.
- ii. Producen caídas de presión no recuperables.
- iii. Señal de salida no es lineal (hay que extraer raíz cuadrada).
- iv. Se necesita un flujo laminar, es decir, tramos rectos de tuberías antes y después del elemento.
- v. Menos precisión que otras tecnologías.

f. Rotámetro

En su forma más simple y elemental, el rotámetro-medidor de flujo de área variable consta de dos partes:

- i. Un tubo cónico de vidrio, colocado verticalmente en línea de medición con su extremo de mayor diámetro interior, hacia arriba.
- ii. Un flotador el cual se encuentra libre para desplazarse dentro del tubo cónico.

El flujo se establece dentro del rotámetro desde la parte inferior hacia la superior. Cuando no existe flujo, el flotador descansa en la parte inferior, bloqueando casi totalmente la entrada del fluido. Al establecerse el flujo, el flotador se eleva momentáneamente debido al efecto de flotación, pero debido a la mayor densidad del flotador éste tiende a descender, ocasionando con ello una reducción del área anular a través de la cual el fluido pasa, esto a su vez trae como consecuencia que la caída de presión dentro del rotámetro aumente. Ésta situación de flotación y aumento en la caída de presión continúa hasta que se logra una condición en la que la diferencia de presión “positiva” a través del flotador más el efecto de flotación son suficientes para vencer la presión “negativa” ocasionada por el peso del flotador dentro de la vena líquida.

Con el movimiento del flotador hacia el extremo de mayor diámetro interior, el área anular localizada entre la pared interior del tubo y la periferia del flotador se ve incrementada, presentándose con esto una reducción en la presión diferencial a través del flotador; nuevamente el flotador alcanzará su equilibrio dinámico cuando se presente el balance de presión.

Cualquier otro incremento en el flujo hará que el flotador se eleve y una disminución causará una caída en la posición. Con lo anterior se desea establecer que a cada posición del flotador corresponde un flujo y no otro. A efecto de que pueda tenerse una lectura directa de la cantidad de fluido que está pasando, se hace necesario proveer el tubo con una escala calibrada.

En la imagen 3-21 se muestra un rotámetro y en la imagen 3-20 sus partes.



Imagen 3-21. Rotámetro

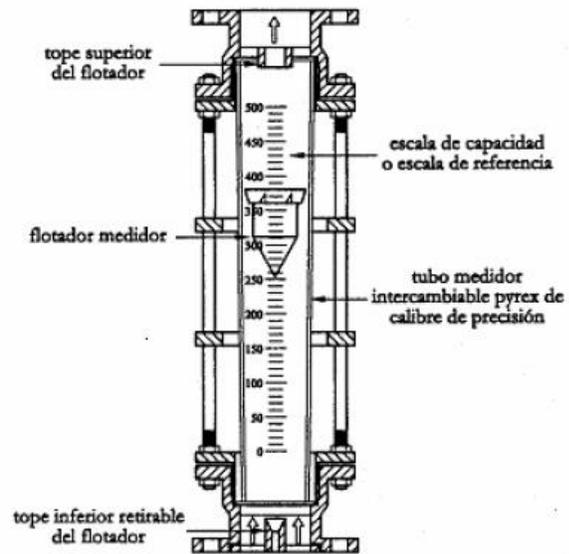


Imagen 3-20. Partes de un Rotámetro.

g. Annubar

El tubo Annubar es una innovación del tubo Pitot. Consta de un tubo exterior situado a lo largo de un diámetro transversal de la tubería, y de dos tubos interiores.

El tubo exterior consta de cuatro orificios en la cara aguas arriba de la corriente, que se utilizan para interpolar los perfiles de velocidad y poder realizar un promedio, y otro orificio en el centro del tubo pero en la cara aguas debajo de la corriente.

De los dos tubos que están en el interior, uno sirve para promediar las presiones obtenidas en los cuatro orificios, midiendo la presión total, mientras que el otro tubo que se encuentra en la parte posterior, mide la presión estática en el orificio central aguas debajo de la corriente.

Su ventaja es que tiene mayor presión que el Pitot y baja pérdida de carga.



Imagen 3-22. Tubo Annubar

3.3.4 Sensores de presión

La presión es la fuerza por unidad de superficie ejercida sobre un cuerpo. Esta medida es común en procesos que involucran gases y líquidos. Para medirla se compara una fuerza con la otra, por lo general, se hace referencia con la fuerza ejercida por la atmósfera. Se pueden utilizar varios métodos para medir la presión, existen métodos por desplazamiento por ejemplo el barómetro o métodos por deformación.

Presión en fluidos

- Fluidos estáticos

En un fluido estático la presión en un punto dado es igual al peso de la columna de líquido por unidad de área. Dicho de otra forma en un líquido la presión será igual a la altura de la columna de líquido (h) por el peso específico (γ):

$$P = \gamma h$$

Por lo tanto, la presión de un líquido será directamente proporcional a la altura del líquido sobre él.

- Fluidos en movimiento

En un fluido en movimiento se presentan diversos tipos de presiones a saber.

a. Presión estática

Es la presión ejercida por el fluido en todas sus direcciones. Esta corresponde a la presión que se medirá con un instrumento que se mueve con el fluido. Para medirla se puede usar una toma perpendicular a la dirección del flujo.

b. Presión dinámica

Es la presión que se produce por el efecto de la velocidad del fluido. Esta se ejerce solamente en la dirección del fluido. En un fluido estático la presión dinámica es cero. Para medirla se debe hacer la diferencia entre la presión de estancamiento y la presión dinámica.

c. Presión de estancamiento

Es la presión resultante de la presión estática más la presión dinámica. Su valor será el de la presión cuando el fluido se desacelera hasta obtener una velocidad cero en un proceso sin rozamiento.

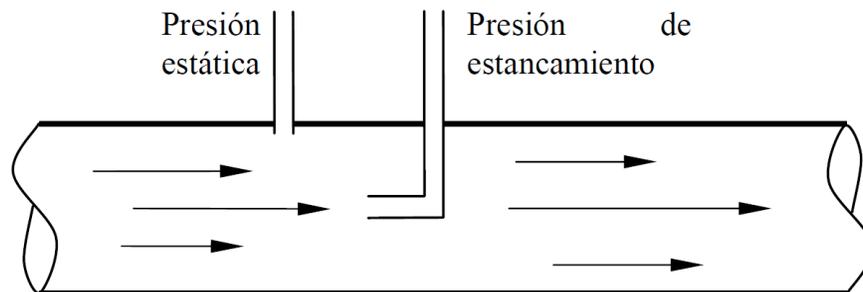


Imagen 3-23. Presión estática y de estancamiento

- Pérdidas de carga

Cuando el agua circula por dentro de las tuberías, debido al rozamiento de las paredes, se produce una pérdida de energía o de presión, conocida con el nombre de “pérdidas de carga”. Igual efecto es causado por las diferencias de nivel en el terreno recorrido por la tubería conductora del agua (al presentarse una pendiente positiva, el agua pierde presión; al presentarse una pendiente negativa, el agua gana presión).

- Medición de presión

Una vez que la instalación está diseñada, se utilizan instrumentos de medición directa; dichos instrumentos se conocen con el nombre de sensores de presión, los cuales pueden ser instalados en diversos puntos de la red.

Estos elementos transforman la variable presión en un desplazamiento. Para ello utilizan la propiedad de los materiales de deformarse dentro del rango elástico cuando se someten a un esfuerzo y regresar a su posición cuando cesa el esfuerzo aplicado. Sabiendo que en este rango la relación esfuerzo deformación es lineal.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L}$$

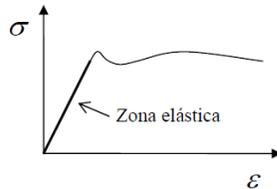


Imagen 3-24. Desplazamiento de un sensor con la presión.

Donde E define el módulo de elasticidad, que es una constante que relaciona el esfuerzo con la deformación de la zona elástica.

Los sensores de presión consisten en elementos de sección delgada que al someterse a una presión se deforman en su rango elástico, deformación que es proporcional a la presión.

Existen principalmente tres tipos de sensores de presión:

I. El tubo de Bourdon

Este consiste en un tubo de sección transversal aplanada con un extremo abierto y empotrado y el otro extremo cerrado y libre de moverse. Este tubo se le da una forma curvada específica que varía según el rango de la presión a medir y las características del tubo. De acuerdo a la forma del tubo se tienen los siguientes tipos de tubo de Bourdon.

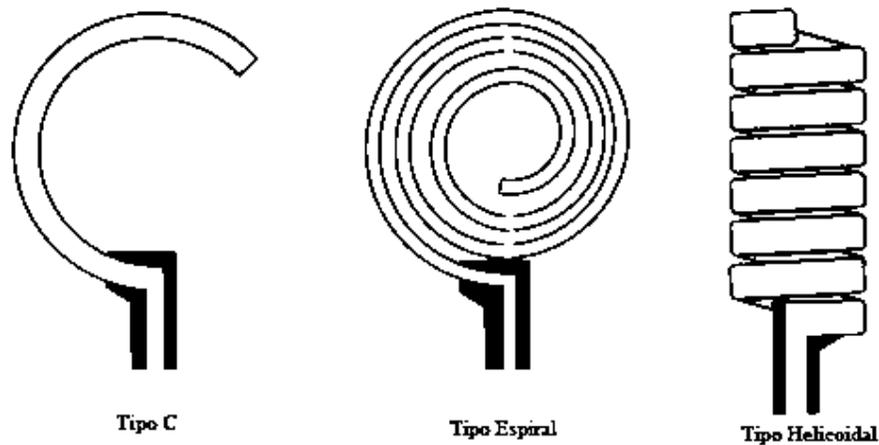


Imagen 3-25. Diferentes tipos de tubos de Bourdon.

En el tubo de Bourdon el tubo forma un arco de algo más de 180° , en el tipo espiral el tubo da más de una vuelta alrededor del eje reduciendo el diámetro en cada vuelta para formar una espiral y en el helicoidal el tubo también de más de una vuelta alrededor de su eje pero en vez de reducir el diámetro este se deforma también en la otra dirección para formar un helicoide.

Al aumentar la presión en el interior del tubo éste tiende a enderezarse y producir un desplazamiento en el extremo libre, el cual es proporcional a la presión aplicada.

La ley que relaciona este desplazamiento con la presión es compleja debido a la forma compleja de los instrumentos, por ellos se han determinado ecuaciones empíricas experimentales para estas relaciones.

II. El fuelle

Este elemento consiste en un tubo de material flexible con uno de sus extremos empotrado y conectado al proceso al cual se le quiere medir la presión; y el otro cerrado y libre de moverse.

Para producir flexibilidad del tubo se hacen corrugaciones circulares sobre las paredes del tubo, de tal forma que este trabaje con un resorte helicoidal.

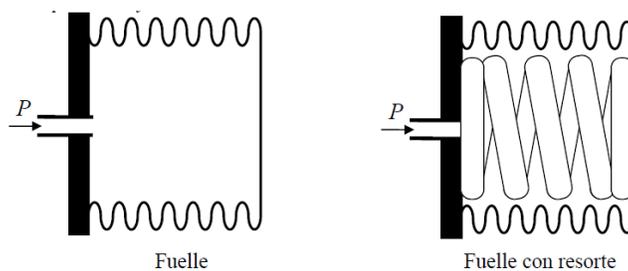


Imagen 3-26. Fuelle

Para aumentar el rango de la presión o la vida útil del fuelle se acostumbra acoplarlo a un resorte interno o externo. Estos elementos se usan principalmente para medir bajas presiones.

III. El diafragma

El diafragma es un disco metálico (o no metálico) al cual se le han hecho corrugaciones circulares concéntricas. Ese se acopla a una caja por el cual se introduce la presión a medir, midiendo este la diferencia de presión existente entre las caras del diafragma.

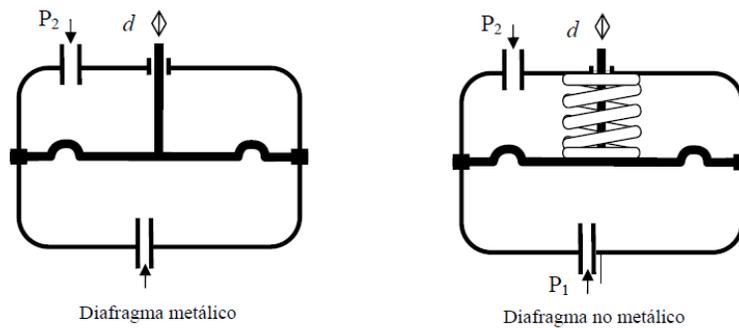


Imagen 3-27. Diafragma

La fuerza de presión origina una deflexión en el centro del disco el cual es proporcional a la presión aplicada. Los diafragmas metálicos emplean directamente la característica elástica del material, mientras que los no metálicos tienen por lo general un resorte calibrado cuya fuerza se opone al movimiento.

IV. Manómetros

Eugéne Bourdon es el casi desconocido inventor de uno de los instrumentos más conocidos por ingenieros en todo el mundo. El manómetro, o tubo de Bourdon, ha sido el equipo más utilizado para la medición de presión a escalas de laboratorio e industrial desde su introducción al mercado a mediados del siglo XIX.

En la Tierra, todo se encuentra expuesto o sometido a la presión de la capa de aire atmosférico, por lo que cuando se indique cualquier presión en alguna tubería, se sobreentiende además de la presión atmosférica.

Las unidades de presión expresan una unidad de fuerza sobre unidad de área. Las más usadas son Kg/cm^2 , $\text{psi (lbf/pulg}^2\text{)}$, Pascal (N/m^2), bar, atmósfera, Torr (mm de columna de Hg).

La tabla 3-4 resume los factores de conversión de las unidades de presión más comunes.

	psi	Pa	Kg/cm ²	Bar	Atmósfera	Torr	Cm H ₂ O	Pulg H ₂ O	Pulg Hg
psi	1	6896.5	0.0703	0.0689	0.0680	51.715	70.31	27.68	2.036
Pa	0.000145	1	0.00001019	0.00001	0.00000987	0.0075	0.01	0.0039	0.00029
Kg/cm ²	14.22	98067	1	0.9807	0.9678	735.58	1000	393.7	28.96
Bar	14.50	100000	1.019	1	0.9869	750.062	1024	401.46	29.53
Atmósfera	14.70	101325	1.0332	1.01325	1	760	1033	406.78	29.92
Torr	0.01934	133.32	0.001359	0.00133	0.001316	1	1.359	0.5352	0.0395
Cm H ₂ O	0.0142	100	0.0010	0.0009	0.00096	0.7356	1	0.3937	0.0289
Pulg H ₂ O	0.0261	254.6	0.00254	0.00249	0.00246	1.8683	2.540	1	0.07355
Pulg Hg	0.4912	3386	0.0345	0.0333	0.0334	25.40	34.53	13.6	1

Tabla 3-4. Diferentes tipos de medición de presión.

La digitalización se impone cada vez más en cualquier ámbito, ya sea industrial o de consumo. Los manómetros mecánicos de toda la vida, sin embargo, mantienen su posición dominante y se venden incluso cada vez más. Existen dos grandes motivos para esta extraordinaria demanda: seguridad y rentabilidad.

Los manómetros indican de manera fiable y segura la presión actual del proceso sin energía auxiliar. Incluso en caso de avería del suministro de corriente eléctrica el usuario puede consultar los valores en el manómetro.

Los manómetros mecánicos se componen principalmente de los siguientes elementos funcionales:

- i. Un sensor de presión, tubo de Bourdon, fuelle o diafragma
- ii. Un mecanismo de amplificación: cremallera piñón, mecanismo de cuatro barras u otro
- iii. Un sistema de indicación que consiste en una aguja indicadora sobre una escala calibrada en unidades de presión.

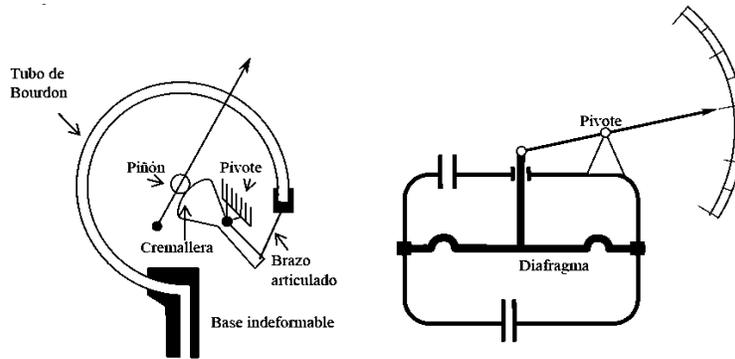


Imagen 3-28. Partes de un manómetro.

a. Transductor eléctrico de presión

Todos los elementos estudiados anteriormente permiten medir presión en el proceso. Sin embargo para procesos industriales se requieren en muchos casos conocer el valor de la medición en una sala de control o en un lugar alejado del proceso. Otras veces se requiere de la medida para la aplicación de una acción de control. Para todo esto se requiere entonces poder comunicar el valor de la variable a otros instrumentos. Una de las formas sencillas para realizar esto es tener una salida eléctrica en el instrumento de medición, para esto se debe entonces utilizar el transductor eléctrico de presión. La función de este elemento será la de transformar el desplazamiento producido por un sensor de presión en la señal eléctrica que se pueda leer.

Los tipos más comunes de transductores eléctricos son:

1. Transductor resistivo

Este elemento está conformado por un potenciómetro (resistencia variable) en donde la guía móvil (elemento que permite variar la resistencia) está conectada a un sensor de presión (diafragma, fuelle o tubo de Bourdon), el desplazamiento producido por el sensor de presión producirá un cambio en la resistencia del potenciómetro.

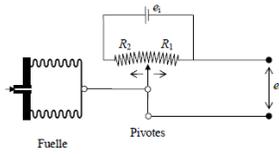


Imagen 3-29. Transductor resistivo

Ventajas	Desventajas
Salida alta	Usualmente requiere gran tamaño
Económico	Posee una alta fricción mecánica
Se puede usar con corriente alterna o continua	Tiene una vida limitada
No es necesario amplificar o acoplar impedancias ²⁹	Es sensible a vibraciones o choques
	Requiere un gran desplazamiento por lo cual el sensor de presión debe ser relativamente grande
	Tiene una baja respuesta a la frecuencia
	Desarrolla altos niveles de ruido con el desgaste
	Es insensible a pequeños movimientos (baja sensibilidad)

Tabla 3-5. Ventajas y desventajas de un transductor resistivo

²⁹ Oposición a la corriente

2. Transductor extensométrico

En el transductor extensométrico se utiliza un extensómetro o galga extensométrica para transformar la deformación que se produce sobre un diafragma en una señal eléctrica.

El extensómetro es un elemento que está diseñado para medir deformaciones en materiales sometidos a esfuerzos. Estos están compuestos por varios lazos de un alambre muy fino o por un material semiconductor, el cual al estirarse produce un cambio en la sección transversal del alambre o en el área transversal del semiconductor. El cambio de sección transversal de este alambre hace que cambie su resistencia eléctrica, este cambio de resistencia será proporcional a la deformación al cual está sometido el extensómetro.

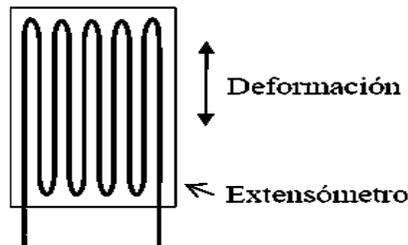


Imagen 3-30. Transductor extensométrico

3. Transductor magnético

Los transductores magnéticos utilizan unas bobinas con un núcleo magnético móvil conectado a un sensor de presión, con lo cual al producirse el movimiento del núcleo magnético cambian las características magnéticas del circuito eléctrico. Existen principalmente dos tipos:

i. Transductor magnético de inductancia variable

En este caso se mide la inductancia³⁰ de la bobina que varía en forma proporcional a la porción de núcleo magnético contenido en ella.

³⁰ Se llama inductancia al campo magnético que crea una corriente eléctrica al pasar a través de una bobina de hilo conductor enrollado alrededor de la misma que conforma un inductor.

ii. Transductor magnético por transformador diferencial

En este caso el núcleo móvil que está conectado a un sensor de presión se desplaza dentro de un transformador diferencial.

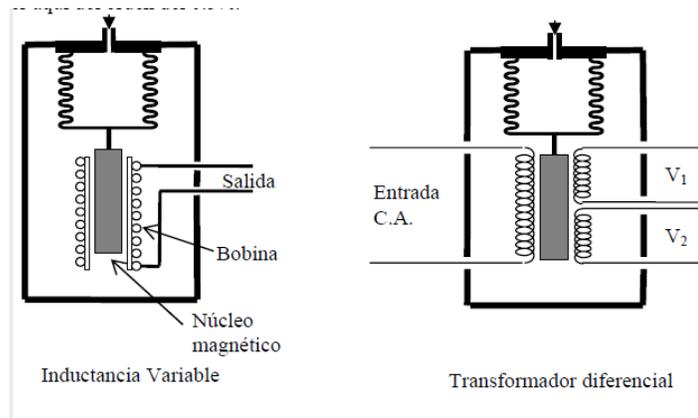


Imagen 3-31. Transductor magnético por transformador diferencial

Ventajas	Desventajas
Salida alta	Se excitan solo con la corriente alterna por lo que el receptor debe funcionar con corriente alterna
Respuesta lineal	
No precisan ajustes críticos en el montaje	Requiere un gran desplazamiento del núcleo magnético
Baja histéresis por no haber roce	Sensible a choques y vibraciones
Construcción robusta	

Tabla 3-6. Ventajas y desventajas de un transductor magnético por transformador diferencial

iii. Transductor capacitivo

Se basan en la variación de la capacidad de un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de la presión. En este caso la placa móvil suele ser un diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas, con lo cual se tienen dos condensadores: uno de referencia y uno de capacidad variable. Las dos capacidades se comparan en circuitos osciladores.

Como la capacidad es función del ancho del dieléctrico (distancia entre placas) cuando el diafragma se refleja por efecto de la presión, cambia la capacitancia del condensador.

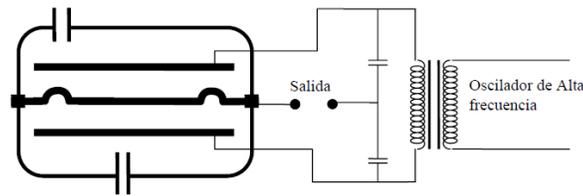


Imagen 3-32. Transductor capacitivo

Ventajas	Desventajas
Excelente respuesta a la frecuencia	El movimiento de cables de gran longitud origina distorsión y error
Construcción sencilla	
Mide presiones estáticas y dinámicas	Alta impedancia de salida
Costo relativamente bajo	Deben balancearse reactiva y resistidamente
Para pequeños desplazamientos	Sensible a variaciones de temperatura
De resolución continua	El instrumento receptor es grande y complejo
Poco afectado por vibraciones	

Tabla 3-7. Ventajas y desventajas de un transductor capacitivo.

iv. Transductor Piezoeléctrico

Cuando ciertos cristales se deforman elásticamente a lo largo de planos específicos de esfuerzos se produce un potencial eléctrico en el cristal. Por lo tanto si se acopla un diafragma a un cristal de características geométricas adecuadas para que este pueda deformarse con la deformación del diafragma, entonces al producirse la deformación se producirá una corriente eléctrica que será proporcional a la deformación del cristal.

Entre los cristales usados están: el cuarzo, la turmalina, el titanio de bario y las sales de Rochelle.

Los cristales naturales como el cuarzo permiten medir variaciones lentas de presión porque operan a bajas frecuencias, son resistentes a la temperatura y se pueden usar en aplicaciones duras como choques.

Los cristales sintéticos como las sales de Rochelle dan una salida mucho mayor para una presión dada pero son incapaces de resistir altos esfuerzos mecánicos sin fracturarse rápidamente.

Con estos instrumentos se pueden medir presiones hasta de 70MPa (10000psi).

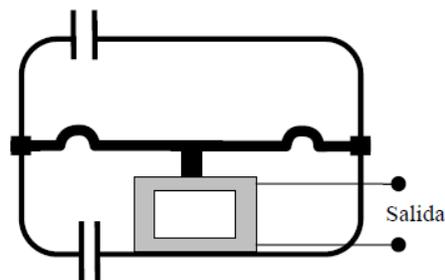


Imagen 3-33. Transductor Piezoeléctrico.

Ventajas	Desventajas
Tamaño pequeño, compacto y ligero	Son sensibles a cambios de temperatura
Muy lineales	No miden presiones estáticas
Alta respuesta a la frecuencia hasta 100000 ciclos/s	Alta impedancia de salida
No requieren frecuente calibración	Cables de conexión largos originan ruidos
	Después de un choque severo no retornan rápidamente a la salida de referencia previa
	Su señal de salida es relativamente débil por lo que precisan de amplificadores y acondicionadores de señal que pueden introducir errores de medición.

Tabla 3-8. Ventajas y desventajas de un Transductor Piezoeléctrico.

Los manómetros mecánicos van a mantener su posición destacada en la industria de proceso ya que son imprescindibles para muchas aplicaciones. Al otro lado solo sirven para la lectura directamente del manómetro y no son aplicables para la medición y control con puestos de mando remotos. Sin embargo existe una solución híbrida que reúne las ventajas de la utilización de manómetros sin energía auxiliar con las ventajas de un control remoto mediante transmisión de señal. Para estas aplicaciones existen instrumentos mecatrónicos que son manómetros mecánicos con un transmisor integrado.

3.3.5 Sensor capacitivo

Los sensores capacitivos utilizan un campo eléctrico para detectar objetos en su zona de acción. Estos pueden detectar tanto objetos metálicos como objetos no conductores de corriente. Un sensor capacitivo puede detectar un objeto situado tras una capa de material no conductor. Por este motivo los sensores capacitivos se pueden emplear para detectar un líquido o granulado en el interior de un contenedor. Los sensores capacitivos generan una señal proporcional a la distancia entre el objeto y el sensor.

3.3.6 Sensor inductivo

Los sensores inductivos son los sensores que se utilizan más frecuentemente en sistemas automáticos para controlar la posición y el movimiento de los mecanismos que dirigen las máquinas y equipamiento. Su estructura compacta, fiabilidad y fácil instalación hacen su uso muy popular.

Un sensor inductivo detecta únicamente metales; cuando un objeto metálico se encuentra en la zona de acción del sensor, el estado o el valor de la señal de salida del sensor varía.

3.4 Típicas señales de salida de los sensores

Cuando se utilizan sensores, es importante conocer los diferentes tipos de señales de salida.

I. Tipo A

Sensores con salida de salida por interrupción (señal de salida binaria).

- a. Sensores de proximidad
- b. Presostatos
- c. Sensores de nivel

II. Tipo B

Sensores con salida por trenes de impulsos.

- a. Sensores incrementales de longitud y rotativos.

III. Tipo C

Componentes de sensores con salida analógica y sin amplificador integrado ni conversión electrónica, que proporcionan una señal de salida analógica muy débil, no apta para una evaluación inmediata o de una señal que solamente puede ser evaluada utilizando circuitería adicional.

- a. Sensores magnéticos.
- b. Componentes de sensores de efecto Hall.
- c. Potenciómetros.

IV. Tipo D

Sensores con salidas analógicas, amplificador y conversión electrónica integrados, que proporcionan señales de salida que pueden evaluarse inmediatamente.

Ejemplos típicos de señales de salida:

- a. 0 - 10V
- b. -5 V - +5V
- c. 1 - 5V
- d. 0 - 20mA
- e. -10 - +10mA
- f. 4 - 20mA

3.5 Sensores binarios y analógicos

3.5.1 Sensores binarios

Los sensores binarios son sensores que convierten una magnitud física en una señal binaria, principalmente en una señal eléctrica con los estados “ON” u “OFF” (conectado o desconectado).

Ejemplo de sensores binarios:

- I. Sensor de proximidad
- II. Presostato
- III. Sensor de nivel
- IV. Termostato.

3.5.2 Sensores analógicos

Los sensores analógicos son sensores que convierten una magnitud física en una señal analógica, principalmente una señal eléctrica de tensión o de intensidad.

Ejemplos de sensores analógicos:

- I. Sensores de longitud, distancia o desplazamiento.
- II. Sensores de fuerza
- III. Sensores de peso
- IV. Sensores de presión
- V. Sensores de flujo (para gases y fluidos)
- VI. Sensores de nivel de temperatura
- VII. Sensores para valores electromagnéticos

3.6 Acondicionamiento de las señales

La señal de salida del sensor de un sistema de medición en general se debe procesar de una forma adecuada para la siguiente etapa de la operación. La señal puede ser, por ejemplo, demasiado pequeña, y sería necesario amplificarla; podría contener interferencias que eliminar; ser no lineal y requerir su linealización; ser analógica y requerir su digitalización; ser digital y convertirla en analógica; construir en un cambio de voltaje y convertirla en un cambio de corriente de magnitud adecuada, etcétera. A todas estas modificaciones se les designa en general con el término *acondicionamiento de señal*.

3.6.1 Interconectándose con un microprocesador

Los dispositivos de entrada y de salida están conectados con un sistema de microprocesador mediante puertos. El término de *interfaz* se refiere a un elemento que se usa para interconectar diversos dispositivos y un puerto. Existen así entradas de sensores, interruptores y teclados, y salidas para indicadores y actuadores. La más sencilla de las interfaces podría ser un simple trozo de alambre. En realidad, la interfaz cuenta con acondicionamiento de señal y protección; esta últimamente previene daños en el sistema del microprocesador. Por ejemplo, cuando es necesario proteger las entradas de voltajes excesivos o de señales de polaridad equívoca.

Los microprocesadores requieren entradas de tipo digital; por ello, cuando un sensor produce una salida analógica, es necesaria una conversión de señal analógica a digital. Hay también que considerar la salida del microprocesador, quizás para operar un actuador. Aquí también es necesaria una interfaz adecuada.

Si el actuador requiere una señal analógica, la salida digital del microprocesador deberá convertirse en señal analógica. Podría también presentarse la necesidad de una protección para impedir que las señales que acaban de salir vuelvan a entrar al mismo puerto de salida, lo que dañaría al microprocesador.

3.6.2 Procesos del acondicionamiento de señales

Los siguientes son algunos de los procesos que se pueden presentar en el acondicionamiento de una señal:

- I. Protección para evitar daño al siguiente elemento, por ejemplo un microprocesador, como consecuencia de un voltaje o una corriente elevados. Por tal efecto, se colocan resistencias limitadoras de corriente, fusibles que se funden si la corriente es demasiado alta, circuitos para protección por polaridad y limitadores de voltaje.
- II. Convertir una señal *en un tipo de señal adecuado*. Sería el caso cuando es necesario convertir una señal a un voltaje de cd, o a una corriente.
- III. Obtención del *nivel* adecuado de la señal. En un termopar³¹, la señal de salida es de unos cuantos milivolts. Si la señal se va a alimentar con un convertidor analógico a digital para después entrar a un microprocesador, será necesario ampliarla en forma considerable, haciéndola de una magnitud de milivolts a otra de volts.
- IV. Eliminación o *reducción de ruido*. Por ejemplo, para eliminar el ruido en una señal se utilizan filtros.
- V. *Manipulación* de la señal, por ejemplo, convertir una variable en una función lineal. Las señales que producen algunos sensores, por ejemplo los medidores de flujo, son lineales y hay que usar un acondicionador de señal para que la señal que se alimenta, en el siguiente elemento sea lineal.

³¹ Es un sensor para medir la temperatura. Se compone de dos metales diferentes, unidos en un extremo. Cuando la unión de los dos metales se calienta o enfría, se produce una tensión que es proporcional a la temperatura.

3.7 Señales digitales

La salida que produce la mayoría de los sensores en general es de tipo analógico. Cuando un microprocesador forma parte del sistema de medición o de control, es necesario convertir la salida analógica del sensor a una forma digital antes de alimentarla al microprocesador. Por otra parte, la mayoría de los actuadores funcionan con entradas analógicas, por lo que la salida digital de un microprocesador debe convertirse a su forma analógica antes de utilizarla como entrada del actuador.

3.7.1 Conversión de señales analógicas a digitales

La conversión de señales analógicas a digitales implica la conversión de las primeras a palabras binarias. En la imagen 3-34 se muestran los elementos básicos de la conversión analógica-digital.

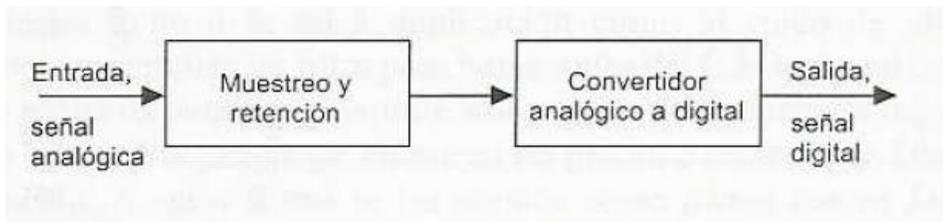


Imagen 3-34. Conversión de señales analógicas a digitales

3.7.2 Conversión de señales digitales a analógicas

La entrada de un convertidor digital a analógico (CDA) es una palabra binaria; la salida es una señal analógica que representa la suma ponderada de los bits que no son cero representados en la palabra. Por ejemplo, una entrada de 0010 produce una señal de salida analógica que es el doble de lo que se obtiene con una entrada de 0001. La imagen 3-35 ilustra lo anterior para la entrada de un CDA con resolución de 1 V para palabras binarias. Cada bit adicional aumenta el voltaje de salida en 1 V.

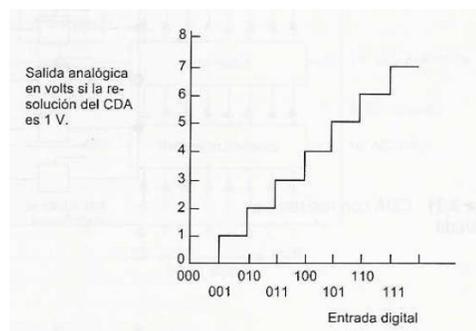


Imagen 3-35. Conversión de señal digital a analógica

3.8 Adquisición de datos

El término *adquisición de datos*, o AD, describe el proceso que consiste en tomar datos de los sensores e introducirlos en una computadora para procesarlos. Los sensores están conectados, por lo general después de someterlos a un acondicionamiento de señal, a una plataforma de prototipos de código abierto (open-source), en este caso se utiliza Arduino.

El software de la Arduino previamente instalado en la computadora controla los datos de adquisición a través de Arduino. Cuando el programa requiere la entrada de un sensor en particular, activa la plataforma Arduino mediante el envío de una palabra de control al registro de control y de estatus. En esta palabra se especifica el tipo de operación que la plataforma Arduino debe realizar. Ésta conmuta al multiplexor con el canal de entrada en cuestión pasa por un amplificador y llega al convertidor analógico a digital. Después de la conversión, la señal digital obtenida pasa al registro de datos y la palabra que se encuentra en el registro de control y estado se modifica para indicar la llegada de la señal. A

continuación la computadora envía una señal para que los datos sean leídos e introducidos en la computadora para su procesamiento. Esta señal es necesaria para asegurar que la computadora no estará en espera sin hacer nada, en tanto la plataforma Arduino realiza su adquisición de datos y aprovecha para indicar a la computadora en qué momento concluye una adquisición; la computadora procede a interrumpir los programas que esté implantando, lee los datos de AD y continúa con sus programas. En sistemas más rápidos la computadora no se utiliza en la transferencia de datos a la memoria, sino que pasan directamente de Arduino a la memoria sin la intervención de la computadora. A esto se le conoce como *direccionamiento directo de memoria (DDM)*.

Entre las especificaciones de Arduino figura la velocidad de muestreo de las entradas analógicas, que pueden ser de 32 Kilobytes.

3.9 Materiales y precios para el desarrollo del prototipo

A continuación se describirá cada uno de los elementos utilizados en el desarrollo del prototipo que se pretende implementar en el sistema de bombeo de agua potable dentro de la Unidad Habitacional el Encino.

Nota: Se desarrolló un prototipo a escala más pequeña con el cual se pudo hacer toda clase de pruebas; esto debido a que no contamos con el permiso de la sociedad de la Unidad Habitacional El Encino para probar directamente sobre el sistema y las tuberías ya que se corría el riesgo de alterar su funcionamiento y dejar sin agua potable a los habitantes de dicha comunidad.

La tabla 3-9 muestra solo los componentes eléctricos utilizados, mientras que la tabla 3-10 muestra el costo de los componentes no eléctricos utilizados en este trabajo de tesis.

Componente	Precio	Número de piezas	Total
Placa Arduino UNO	\$ 475	1	\$ 475
Placa de Relevadores	\$ 180	1	\$ 180
Bomba de agua	\$ 150	3	\$ 450
Pantalla LCD	\$ 90	1	\$ 90
Electroválvula	\$ 120	1	\$ 120
Precio total			\$ 1315

Tabla 3-9. Precio de componentes eléctricos

Material	Precio Unitario	Características	Precio
Tubo CPVC ½"	\$ 11	3 metros	\$33
Piezas especiales	\$ 2.5	13 piezas (coples, codos)	\$32.50
Tabla	\$ 30	40 x 20 cm	\$30
Manguera	\$ 5	½ m de ½"	\$3
Precio Total			\$98.5

Tabla 3-10. Precio de componentes no eléctricos.

La estimación real de este sistema de control para implementarlo dentro de las tuberías existentes en la Unidad Habitacional El encino es de un precio muy elevado, la empresa SIEMENS brinda una forma de tener un control parecido al desarrollado en este trabajo de tesis, pero el precio del sensor de presión y de flujo de agua está alrededor de los 15,000 pesos. Se estima que con el uso de este tipo de tecnologías de hardware y software libre el costo de la implementación real se podría reducir hasta en un 60 %, por lo tanto, se pretende desarrollar en un futuro la implementación con el uso de Arduino.

4. Prototipo



Este último capítulo de tesis explica la implementación del sensor de flujo, electroválvula, relevadores y pantalla LCD para la medición y control del flujo dentro de las tuberías existentes en la Unidad Habitacional El Encino, además de que el lector comprenderá más sobre las ventajas e ideas que se tiene sobre el desarrollo del sistema de distribución de agua potable dentro de la comunidad.

4.1 Concepto del prototipo

Como se sabe, hoy en día, la problemática de disponer y suministrar agua potable dentro de las comunidades es un reto para la ingeniería. Debido a esto y al riesgo de la fuga del vital líquido por las tuberías, en sistemas existentes, además de su alto costo de renovación, se toman medidas para tener un mejor control del sistema disponible dentro de la Unidad Habitacional El Encino.

Puesto que el agua es vital para cualquier comunidad, se desprende que una buena explotación, control, gestión y distribución traerá como beneficio la prosperidad, salud y bienestar social.

Lo que se implementa en este concepto es:

Un prototipo de sistema de control de flujo y presión dentro de las tuberías existentes del sistema de distribución de agua dentro de la Unidad Habitacional El Encino, hace uso de tecnología innovadora para el desarrollo y adaptación de sensores que se encuentran prácticamente al alcance de cualquier usuario con conocimientos en el área de la programación y de la electrónica, interfaces máquina-máquina y máquina-humano para la toma de valores y la creación de software para la interpretación de los datos; además se emplea dentro del prototipo una manera más económica pero no menos eficiente para el control de sistemas de bombeo de agua potable, usando software y hardware libre.

El desarrollo del prototipo de control y automatización se puede dividir principalmente en dos etapas; la selección adecuada de la ubicación donde se pondrá el circuito de hardware libre construido a base de sensores de presión y de flujo, Arduino, electroválvulas y una pantalla LCD para monitorear el estado del sistema de bombeo; y la segunda etapa consiste en la construcción del software adecuado para el funcionamiento óptimo de todos los componentes de hardware.

Dentro de los objetivos primordiales que se cumplen de este sistema de control es el economizar dinero al usar material simple pero eficiente, quitar la tarea a uno o a más habitantes de la Unidad El Encino de estar monitoreando constantemente la presión dentro de las tuberías del sistema de distribución de agua. Para hacer esto posible se usó un conjunto de circuitos, los cuales dan solución a los problemas de distribución y control de agua potable dentro de la comunidad.

4.2 Objetivo del desarrollo del prototipo

La creación de un prototipo para la mejora del sistema de distribución de agua potable existente dentro de la Unidad Habitacional El Encino, tiene objetivos bastante marcados debido a su potencial que marca una gran mejora en la instalación hidráulica de dicha comunidad, es importante destacar los objetivos y darlos a conocer de manera concreta. El desarrollo de software y la adaptación de hardware libre cambia por completo el funcionamiento del sistema de bombeo dentro de la Unidad El Encino, ya que el sistema por ser obsoleto se limitaba únicamente la distribución de agua de manera manual, no existía un control sobre el flujo y la presión dentro de las tuberías principales del sistema; por lo tanto, el prototipo de control del sistema tiene que ser capaz de controlar las variables antes mencionadas (presión y flujo), todo esto considerando que los precios de implementación de este sistema de control puedan estar al alcance de los habitantes de la Unidad El Encino.

Por lo tanto se puede decir que el objetivo principal del desarrollo y la implementación del sistema de control de agua dentro de las tuberías del sistema existente es para mejorar la calidad de vida de los habitantes y así mismo de quitar la preocupación de que puedan explotar las tuberías debido al exceso de presión dentro de ellas.

4.3 Sistema de control

Este sistema de control está basado en el uso de plataformas de hardware y software libre debido a la gran flexibilidad y utilidad que estas tienen, en el caso del prototipo de control para el sistema de agua potable existente dentro de la Unidad Habitacional El Encino está hecho y funciona a través de Arduino, por la usabilidad para enfrentar problemas mediante la manipulación de variables de control; el uso de estructuras de control son las que permiten interactuar y tomar decisiones sobre las acciones de algunos actuadores presentes en el prototipo del sistema de control de agua potable. El desarrollo de este prototipo, debido a la gran capacidad de aplicación puede seguir incrementando debido a los requerimientos existentes.

Si se requiriera incrementar la funcionalidad del prototipo del sistema de control de agua potable, se podría resolver otro problema muy frecuente dentro de la Unidad Habitacional El Encino.

La falta de pago de los habitantes con respecto a las reparaciones del sistema de bombeo de agua potable existente, genera un conflicto entre los mismos habitantes debido a que no todos pagan sus respectivas cuotas, por tal motivo el prototipo de sistema control puede mejorar y así dar una solución a este problema.

A los habitantes que no hagan sus respectivas aportaciones se les bloqueará su tubería, no se les negará el servicio de agua, pero si la distribución de manera automática, así que podrán obtener agua de manera manual sacándola directamente de la cisterna.

La manera en la que se hará este control es realizando una interfaz de usuario donde a cada habitante se le pueda asignar una variable donde podamos guardar el valor de que si este habitante está al corriente con sus pagos, entonces el software podrá tomar una decisión y cerrar la tubería del habitante que no haya cubierto sus pagos o de abrirla si es el caso contrario; esto, sin perder su funcionalidad principal que es el tener control sobre la presión de toda la tubería en general.

4.4 Creación de tecnología propia

Uno de los inconvenientes más destacados a la hora de tratar de automatizar el sistema de distribución de agua existente dentro de la Unidad Habitacional El Encino, es la adquisición del equipo necesario, ya que esto puede resultar costoso para los habitantes de dicha comunidad.

Cuando se decidió iniciar la construcción de este prototipo surgió la necesidad de buscar la tecnología necesaria y los distintos dispositivos eléctricos así como sensores para la elaboración de un sistema capaz de controlar la presión y el flujo de agua potable el cual se pueda adaptar a la tubería y al sistema de bombeo de agua potable existente dentro de la Unidad Habitacional El Encino. Al enfrentarse al problema económico acerca de la adquisición de tecnología con el propósito deseado, se buscaron ideas por otras vertientes para poder implementar estos instrumentos, la mejor idea no fue buscar precios más bajos, sino verificar los diferentes tipos y funcionalidad de muchos componentes existentes en el mercado de hardware libre y así poder juntar los mejores de acuerdo a su rendimiento para posteriormente juntarlos en un mismo sistema y obtener un hardware totalmente libre,

tratando que tuviera la calidad necesaria en la implementación, que los datos de obtención fueran los correctos y que cumpla con todos los requerimientos habitantes de la comunidad.

Los componentes que se tuvieron que adaptar e implementar se mencionan a continuación, así como su funcionalidad dentro del prototipo de sistema de control de distribución de agua potable dentro de las tuberías existentes en la Unidad Habitacional El Encino.

4.4.1 Metodología de construcción del prototipo

I. Visualización de datos por medio de una pantalla LCD

Al usar una plataforma de hardware libre como lo es Arduino el uso de la funcionalidad de la comunicación serial es necesaria cuando se requiere conocer el comportamiento de ciertos dispositivos y actuadores. Podríamos mencionar por ejemplo, en la implementación de un sensor de flujo de agua que se presenta en este trabajo, cuando se requiere conocer los datos de qué tanta agua pasa por la tubería en determinado lapso de tiempo tenemos que recurrir al monitor serial de Arduino.

El monitor serial de Arduino es una buena opción para conocer el estado de los diferentes sensores y actuadores dentro del sistema de control, pero la única limitante del monitor serial es que necesariamente se necesita la intervención de una computadora para dichas lecturas; por lo tanto se tuvo que recurrir a la ayuda de hardware libre externo con la única finalidad de visualizar los datos arrojados por el sensor de flujo de agua involucrado en el sistema de control de agua potable. El uso de este dispositivo resulta muy esencial debido a que gracias a él, cualquier persona que lo desee puede conocer las condiciones presentes en las tuberías del sistema de agua potable de la Unidad Habitacional El Encino.

La imagen 4-1 muestra este dispositivo implementado en el prototipo de sistema de control de agua potable existente dentro de la comunidad.



Imagen 4-1. Pantalla LCD

II. Potenciómetro

Para que la pantalla LCD pueda mostrar el estado del sensor de flujo a cualquier usuario, es importante conectar un potenciómetro de 10K ohms o una resistencia fija para darle contraste a la pantalla y así poder encontrar el valor fijo el cual permitirá que los valores sean observados. Si no se conecta este potenciómetro, aunque esté bien conectada la pantalla a la corriente, tierra y a Arduino no se podrá observar nada. La imagen 4-2 muestra el diseño de un potenciómetro.

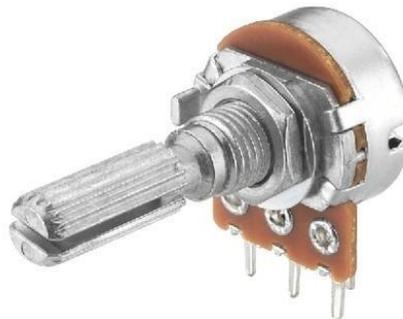


Imagen 4-2. Potenciómetro

La imagen 4-3 muestra cómo está conectada la pantalla LCD y un potenciómetro con la placa Arduino.

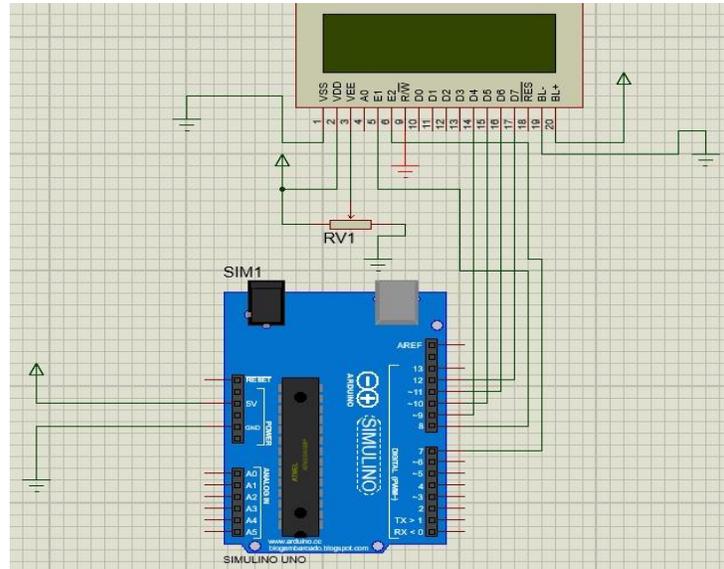


Imagen 4-3. Conexión Arduino-LCD-Potenciómetro

III. Adaptación de un sensor de flujo

Un sistema de control de distribución de agua potable consta de varios dispositivos los cuales conforman el sistema en su totalidad, el más importante que se tiene que implementar es un sensor de flujo de agua, este sensor es un requerimiento para poder controlar las variables de velocidad y de flujo dentro de las tuberías en el sistema existente de distribución de agua en la Unidad Habitacional el Encino.

Hoy día existe una gran variedad de estos sensores en el mercado, por lo tanto se tuvo que realizar una extensa búsqueda y así poder lograr dar con el indicado que cubre todas las necesidades y los requerimientos que se necesitaban para el prototipo del sistema de control de distribución de agua potable.

Se optó por utilizar hardware externo libre debido a que los sensores industriales y de marcas reconocidas son muy costosos aunque el rendimiento también es el óptimo para las necesidades del sistema de control.

El prototipo del sistema de control de distribución de agua potable requiere conocer las variables del flujo que pasa por la tubería en un intervalo de tiempo, cabe resaltar que la adquisición de este sensor es bastante reducido en comparación con otros dispositivos existentes. Los valores arrojados por este sensor requieren de una interpretación pues es necesario hacer un cálculo mediante una fórmula que define el propio fabricante de dicho sensor.

Por lo tanto, el adquirir e implementar este sensor devuelve un valor no entendible por el usuario, por lo que hay que tratar los datos obtenidos para que tengan sentido y puedan ser interpretados de una manera adecuada. Este sensor tiene como tarea tomar lecturas del flujo existente en las tuberías, los cuales van a ser visualizados mediante una pantalla LCD que previamente se adaptó al sistema de control de distribución de agua potable.

La imagen 4-4 muestra el sensor utilizado en el sistema de control.



Imagen 4-4. Sensor de flujo modelo YF-S201

La imagen 4-5 muestra cómo se conectó el sensor de flujo a la placa Arduino.

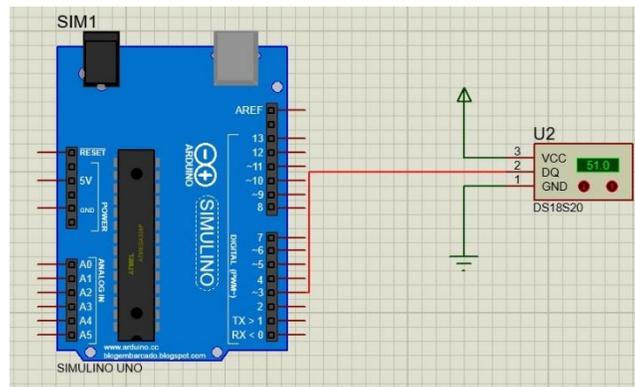


Imagen 4-5. Conexión Arduino – Sensor de Flujo

IV. Implementación de Relevadores

Los relevadores (imagen 4-6) juegan un papel muy importante en el desarrollo del prototipo de sistema de control de distribución de agua potable, el relevador permite que la corriente llegue en su totalidad a uno o más dispositivos utilizando cables más cortos para evitar caídas de tensión y separe las secciones de control y de potencia.

Se optó por la implementación de un conjunto de relevadores para la conexión de las bombas de agua dentro del sistema existente de distribución de agua potable dentro de la Unidad Habitacional El Encino debido a que un relé permite el control de las bombas a distancia, no se necesita estar junto a ellas para funcionar. EL relé es activado con poca corriente, sin embargo puede activar grandes máquinas que consumen gran cantidad de corriente, en este caso bombas de agua de lavadora, pero pueden ser implementadas en bombas de uso industrial con el mismo relé. Con una señal de control se pueden controlar varios relés a la vez.

La función específica de estos relés es encender o apagar las bombas de manera automática, esto lo hace mediante una señal, el sensor de flujo insertado en el sistema de distribución de agua existente dentro de la Unidad Habitacional El Encino toma lecturas de la cantidad de flujo de agua por intervalo de tiempo que pasa por la tubería, esta señal la manda a Arduino; una vez que la señal es mandada a la placa Arduino este la interpreta y verifica si es mucha la cantidad de agua que está pasando en ese instante de tiempo, si ese es el caso Arduino manda

una señal a los relevadores indicando que se deben apagar una o más bombas, del caso contrario Arduino indica que las bombas deberán de seguir encendidas.



Imagen 4-6. Relevador

V. Bombas para distribución de agua

Para el desarrollo del prototipo, especialmente para el bombeo de agua se tuvieron que adquirir 3 bombas de lavadora del modelo “233D1021P001 PP40CM” de la marca “easy”, estas bombas tienen un motor de inducción de tipo monofásico. La corriente alterna de 127V conectada a los relés y a las bombas, origina un campo magnético alterno, que obliga al rotor a girar. La velocidad del motor es única y no puede ser regulada, para 127V tenemos una velocidad de 3000 rpm³².

Fijado al eje del motor, y formando una única pieza con él (tanto que le da el nombre), está situada la bomba de paletas. La bomba en sí no es más que una turbina de paletas, que centrífuga a alta velocidad agua que ha entrado en el cuerpo de la bomba. Este procedimiento genera una presión contra los lados de la bomba, en uno de los cuales está situada la toma de agua.

La imagen 4-7 muestra el tipo de bomba utilizado en esta tesis.

³² La cantidad de vueltas de un cuerpo giratorio completa alrededor de su eje cada sesenta segundos.

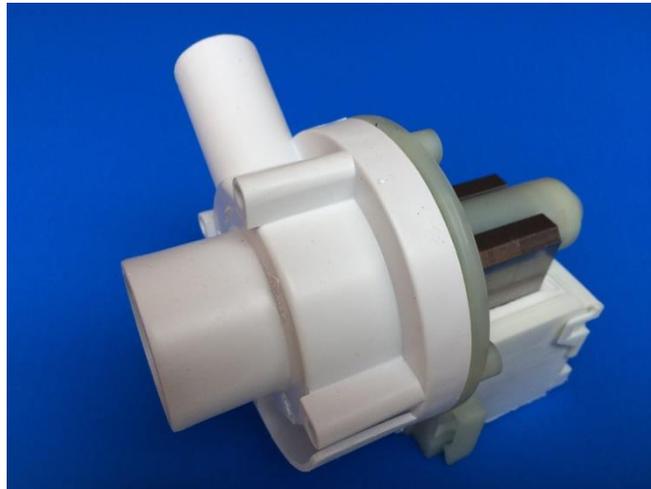


Imagen 4-7. Bomba de agua de la marca "easy"

Las bombas de agua tienen dos cables para la conexión a corriente, el cable de corriente de las 3 bombas está conectado directamente a la corriente alterna (AC), mientras que el otro cable de las está conectado a los relés, de esta forma las bombas siempre tienen corriente pero no siempre estarán prendidas, dado que esperan una señal de Arduino para poder encender o apagar según las lecturas del sensor de flujo.

A su vez los relés tienen una conexión con Arduino donde cada uno se conecta a uno de los pines digitales de la placa Arduino y para alimentación únicamente necesitan un voltaje de 5V y tierra que suministra la placa Arduino. Mientras que cada uno de los relés se conecta con un cable de la bomba, otra conexión que se debe hacer es la del relé con la tierra de la corriente alterna (AC) para así cerrar el circuito y que las bombas puedan funcionar de manera automática. El esquema de conexión se muestra en la imagen 4-8.

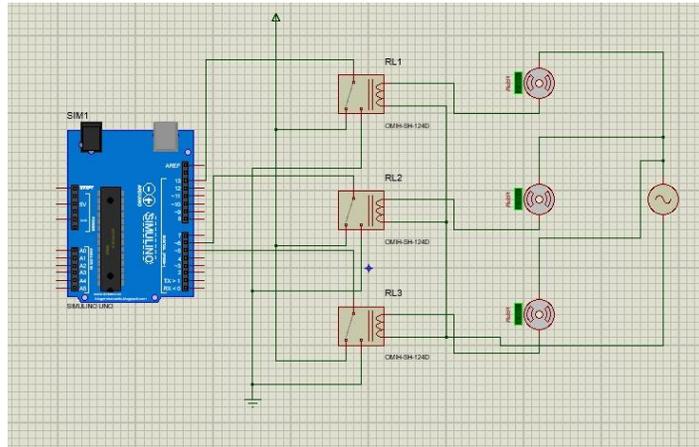


Imagen 4-8. Conexión Arduino – Relés- Bombas

La manera en la que fueron conectados los componentes electrónicos es la siguiente:

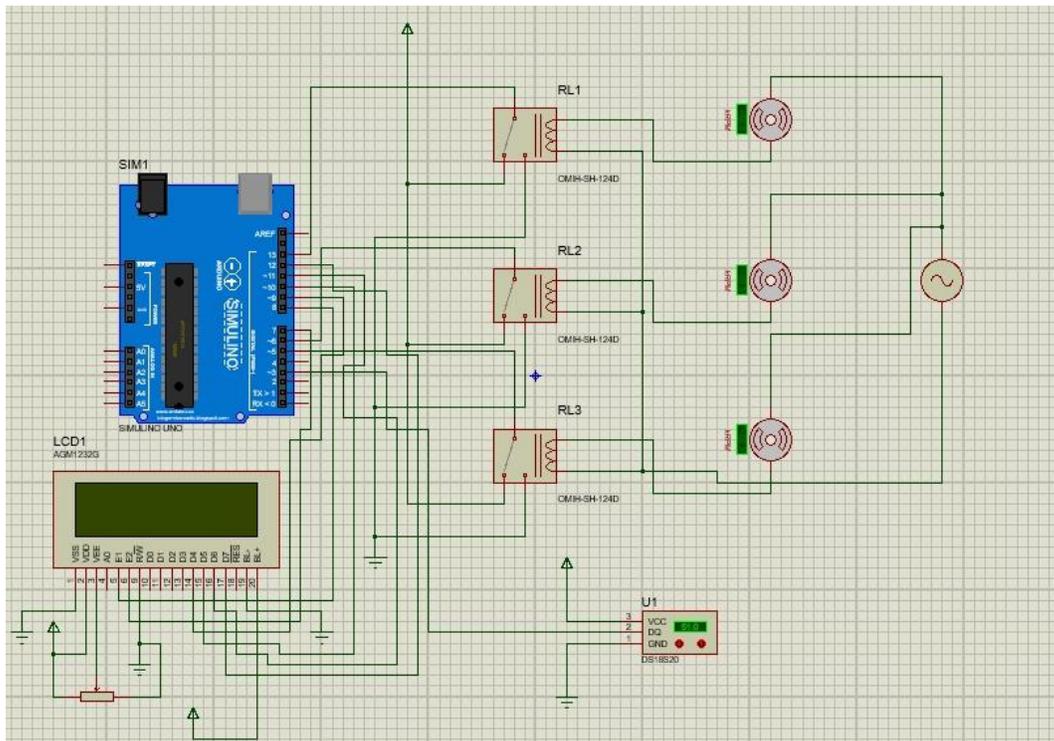


Imagen 4-9. Esquema eléctrico de la conexión general del prototipo

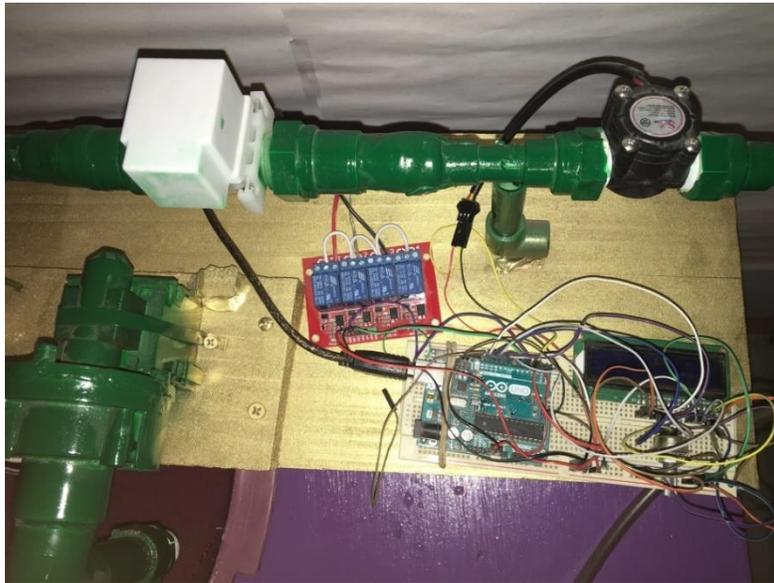


Imagen 4-10. Conexión física y lógica de los dispositivos electrónicos.

La imagen 4-10 muestra cómo están conectados los diferentes dispositivos: Arduino, la placa de relés, pantalla LCD y el sensor de flujo de agua; estas conexiones hacen que el prototipo tenga un óptimo funcionamiento. Todos estos componentes electrónicos se encuentran conectados a una placa protoboard la cual permite que todos sean alimentados de voltaje y de tierra.

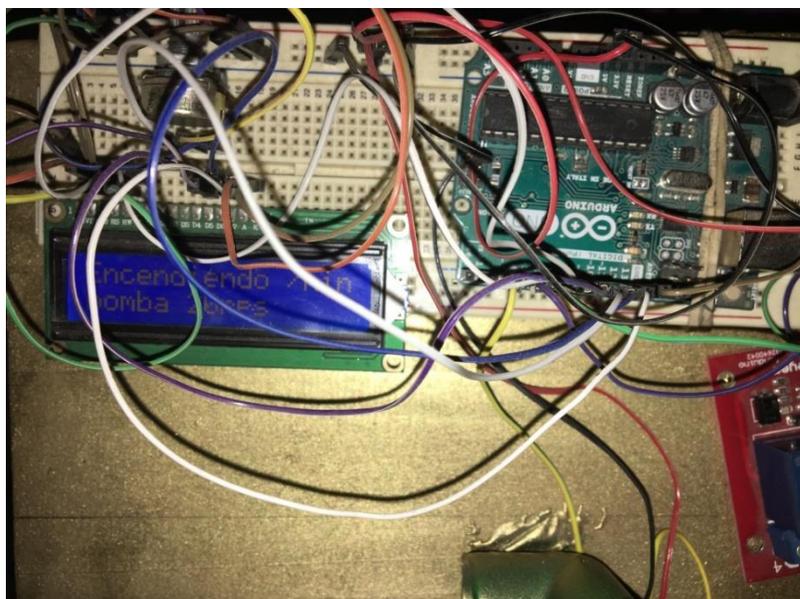


Imagen 4-11. Funcionamiento de la pantalla LCD.

En la imagen 4-11 se puede observar en funcionamiento la pantalla LCD, la cual está mostrando el estado de una bomba y la cantidad de flujo de agua que pasa por la tubería.

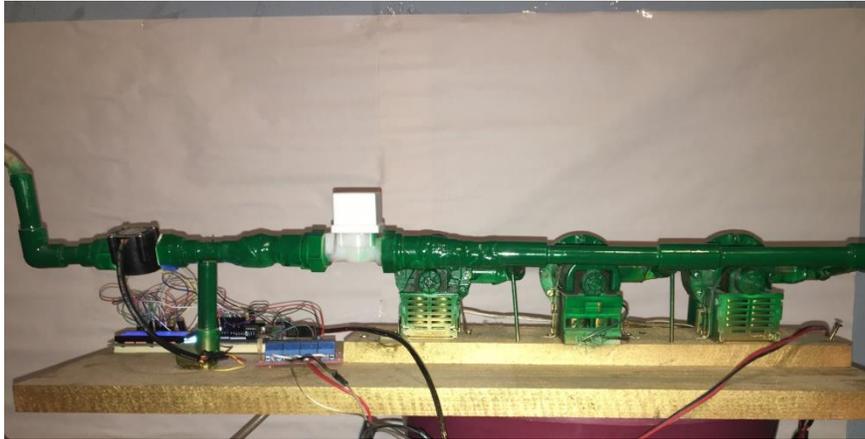


Imagen 4-12. Vista trasera del prototipo.



Imagen 4-13. Vista frontal de la conexión de las bombas de agua.



Imagen 4-14. Vista superior de la conexión de las bombas de agua.



Imagen 4-15. Conexión de bombas de agua.

La imagen 4-12, 4-13, 4-14 y 4-15 muestran como están conectadas las tres bombas de agua a una sola tubería para hacer llegar el líquido al sensor de flujo de agua; las bombas de agua están conectadas de manera independiente a la placa de relés, esto para tener un control total sobre su estado de encendido o apagado; si el agua que bombean es mucha para el sensor de flujo, éste se lo indica a Arduino y Arduino puede apagar una, dos o las tres bombas de ser necesario.



Imagen 4-16. Prototipo de un sistema automático de distribución de agua.



Imagen 4-17. Vista frontal del prototipo de un sistema automático de distribución de agua.

La vista general del prototipo desarrollado para este trabajo de tesis se muestra en las imágenes 4-16 y 4-17, donde se observa cómo interactúan todos los dispositivos, bombas y sensor de flujo para hacer funcionar un sistema de control de distribución de agua potable.

VI. Software para la interpretación de datos

Con la idea de simplificar el uso de la tecnología de hardware y software libre, para usuarios de todo tipo y no sólo para expertos, se ha convertido en una práctica habitual utilizar metáforas visuales por medio de una interfaz de usuario para que el usuario interactúe y establezca contacto más fácil e intuitivo con el comportamiento del sistema de bombeo; debido a que parte esencial para los habitantes de la Unidad Habitacional El Encino es conocer el comportamiento de la cantidad de agua y presión dentro de las tuberías, para lo cual se creó un software en el lenguaje de programación de Arduino donde es posible visualizar los datos en una pantalla LCD que arroja los datos por el sensor de flujo de agua.

Dentro del sketch general del prototipo de distribución de agua potable existente dentro de la Unidad Habitacional El Encino se crearon funciones específicas que permiten visualizar en la pantalla LCD el estado de medición del sensor de flujo, esto con el fin de que el usuario que desee saber el comportamiento de las bombas lo pueda hacer sin necesidad de requerir una computadora o algún dispositivo móvil.

4.4.2 Metodología de software

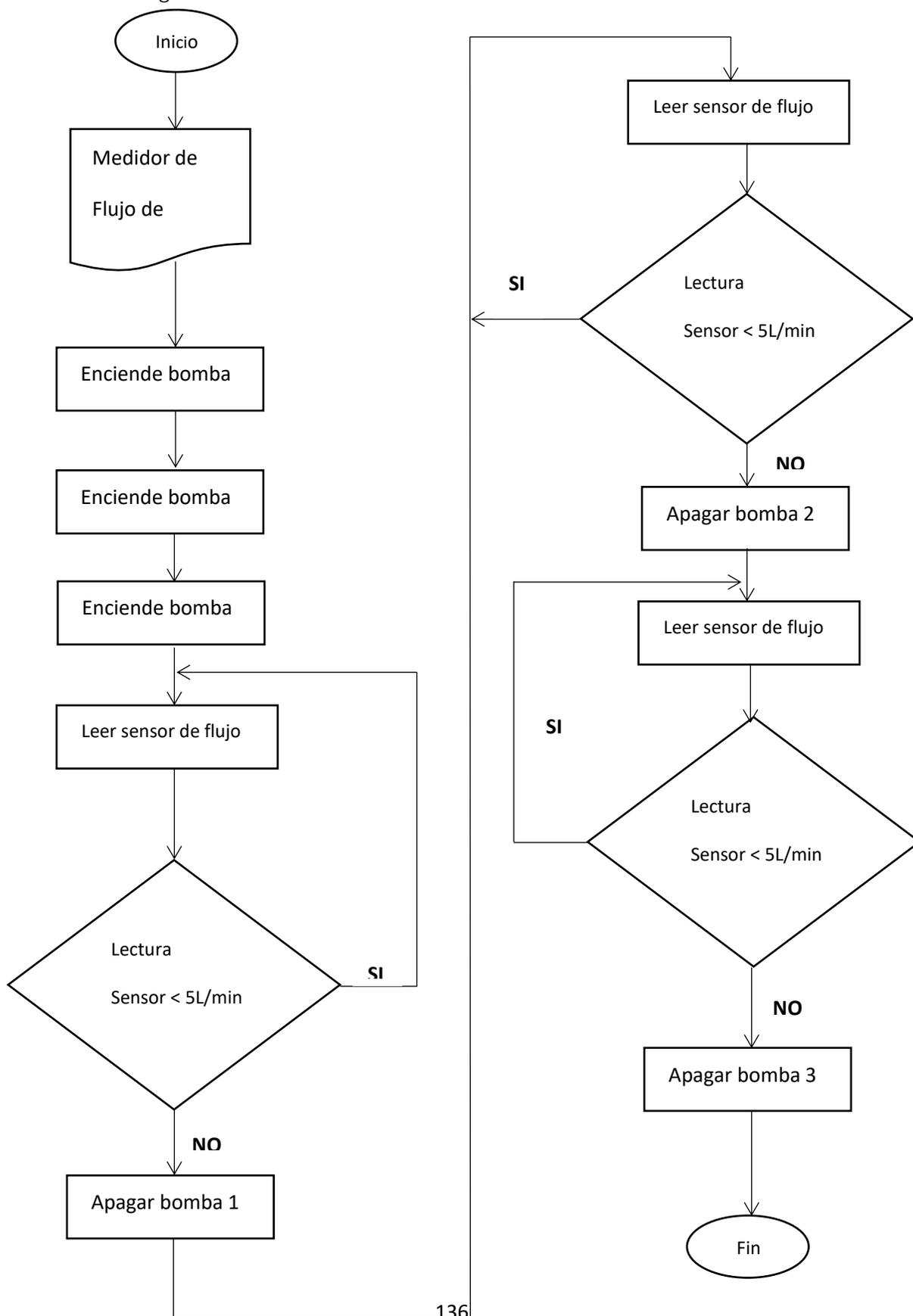


Imagen 4-18. Algoritmo de funcionamiento

4.5 Bombas, sensor de flujo, pantalla LCD y Arduino

El desarrollo del prototipo de un sistema de control de distribución de agua potable implementado dentro de las tuberías existentes dentro del sistema de bombeo de la Unidad Habitacional El Encino, permite el control automático sobre el estado de las bombas (encendido y apagado), esto se realiza con precisión gracias a la ayuda de la plataforma de hardware libre Arduino.

La idea principal en cuando al control automático sobre las bombas, es poder encenderlas o apagarlas conforme al flujo de agua y presión que existe dentro de la tubería en determinado intervalo de tiempo, este control permite un mayor desempeño en cuanto a distribución de agua se refiere reduciendo la tarea manual por parte de algún habitante de dicha comunidad. El estado de cada una de las tres bombas de distribución de agua es controlado dependiendo de los datos obtenidos por un sensor de flujo de agua colocado en un punto específico en las tuberías de abastecimiento del vital líquido.

Otro de los puntos a destacar dentro del desarrollo de este prototipo es el no solo prender y apagar las 3 bombas al mismo tiempo, sino que dependiendo de que tanto sea el flujo de agua que pasa por las tuberías, el sensor mande una señal a la placa Arduino y este tenga la capacidad de decidir si el flujo es excesivo y así apagar únicamente una bomba para disminuir el flujo más no para detenerlo por completo, y también en el caso contrario, si Arduino considera que el flujo es poco de acuerdo a la capacidad de la tubería pueda encender una, dos o las tres bombas.

Conclusiones

En el presente trabajo de tesis, se investigaron temas sobre sistemas de control en sistemas de distribución de agua potable, así como el uso de diferentes herramientas y dispositivos para llevar a cabo dicho control. Todos los sistemas de control, sin importar su arquitectura y su funcionamiento están basados en el uso de sensores, ya sea sensores para detectar el flujo de agua, la presión, la temperatura, etc. Por tal motivo, para la construcción de un prototipo de un sistema de control de distribución de agua potable implementado dentro de las tuberías existentes dentro del sistema de bombeo de la Unidad Habitacional El Encino se requirió de una investigación exhaustiva acerca de los tipos de sensores que pudieran ayudar a detectar el flujo de agua dentro de las tuberías, y así poder interpretar los datos arrojados por dicho sensor y así poder obtener un sistema de control sobre el sistema de distribución de agua.

Más allá de los conceptos principales que engloban este trabajo de tesis, se logró comprender de manera más profunda lo que es un sistema de control y como se implementa este tipo de sistemas a lo que es un sistema de distribución de agua dentro de una comunidad con alteraciones al mínimo sobre las instalaciones existentes; de la misma manera se obtuvo un conocimiento pleno sobre los instrumentos que componen este prototipo de tesis, tales como sensores para la detección de flujo de agua, la medición de presión dentro de las tuberías, sensores de dirección, etc. Se recalcó que el adquirir este tipo de instrumentos resulta necesario si se quiere implementar la automatización en sistemas de distribución de agua potable, por lo cual los habitantes de comunidades que deseen adquirir este tipo de recursos deben contar con los recursos suficientes. Por lo tanto, en el desarrollo de este trabajo de tesis se logró demostrar que se puede automatizar un sistema de bombeo de agua existente, es decir, sin alterar la arquitectura del sistema en alguna comunidad, con el uso de hardware y software libre cumpliendo con los requerimientos necesarios y a un costo accesible y reducido.

Durante toda la etapa de desarrollo del prototipo del sistema de control de distribución de agua, se señaló el uso de los componentes principales para este proyecto, una placa de hardware libre Arduino y un sensor de flujo de efecto Hall, es imprescindible el uso de estos dos componentes ya que en conjunto y con el desarrollo del software adecuado logran tomar decisiones acerca del control de las bombas de distribución de agua, otro de los puntos a favor de la implementación de estos dos dispositivos es el costo, que es

relativamente bajo en comparación con otros productos que ofrecen las empresas los cuales ya están contruidos y programados con el mismo objetivo de automatizar un sistema de bombeo.

Al final del trabajo de tesis, se comprendió como se realizó la instalación y la conexión entre componentes para la implementación final del sistema de bombeo de agua potable existente dentro de la Unidad Habitacional El Encino, recalcando las grandes ventajas que se pueden obtener al usar este tipo de dispositivos.

Por último se puede concluir que existen en el mercado una diversidad de empresas que cuentan con el desarrollo de componentes que pueden automatizar un sistema de bombeo, el único problema es que el costo para adquirir uno de estos componentes resulta bastante elevado, por tal motivo se optó por el desarrollo de un sistema automático pero con el uso de hardware y software libre, el cual no resulto muy sencillo de elaborar debido a que la información acerca de estos sistemas no es muy amplia.

El prototipo del sistema de distribución de agua cumple con todos los requerimientos de los habitantes de la comunidad, pero queda abierto a futuras mejoras que se puedan realizar. En lo personal, sería muy grato el poder realizar más aportaciones a la comunidad debido a que siempre existen problemas por el agua y no solo en esta comunidad, en todas partes donde personas dependan de un sistema de bombeo de agua potable.

El resultado obtenido fue el esperado desde un inicio después de experimentación y de muchas fallas en la conexión de componentes o en el desarrollo del software por fin se obtuvo un producto que cumplía con los requerimientos deseados desde un inicio, y el cual se logró implementar con éxito; logrando, con esto, reducir el costo de automatizar un sistema de bombeo de agua potable.

Anexo 1. Descarga e instalación del entorno Arduino

Para programar la placa Arduino se necesita el entorno de desarrollo Arduino, para poder descargarlo solo basta con ingresar a su página www.arduino.cc/en/Main/Software seleccionando únicamente el sistema operativo del ordenador en donde se va a instalar.

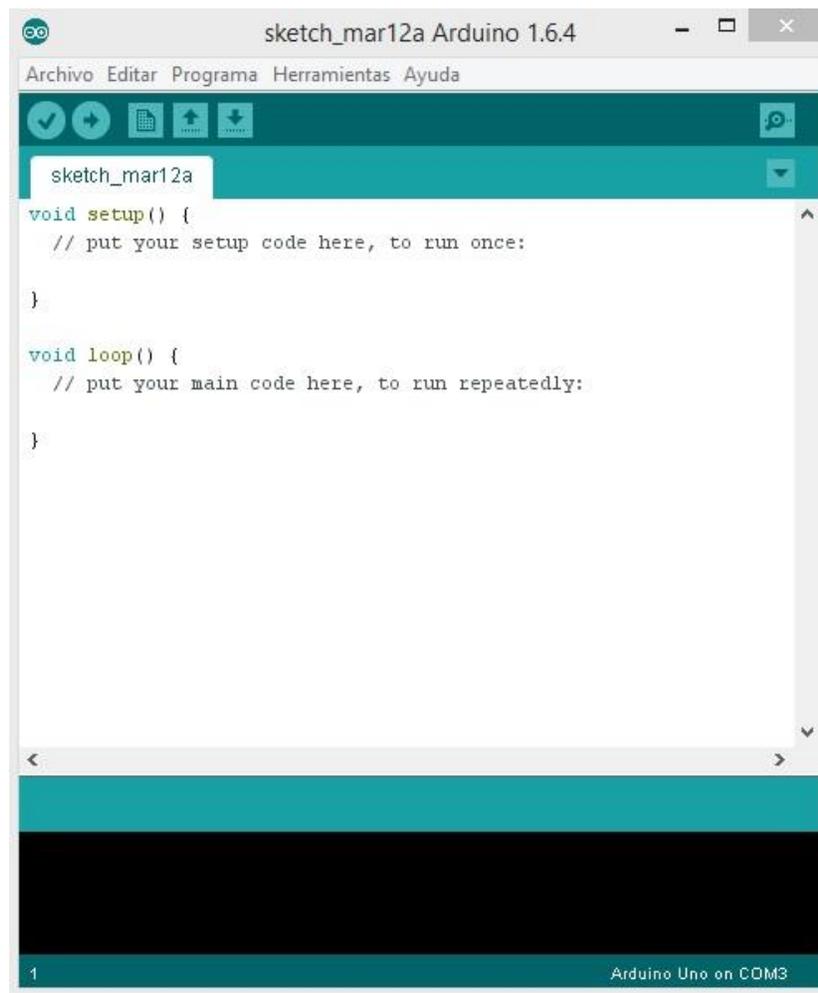
Una vez que se tiene el paquete se puede iniciar con la instalación de los controladores correspondientes para cada versión de Arduino, pudiendo variar un poco la instalación, se señala una serie de pasos para poder iniciar el software con el hardware.

- I. Conectar la placa Arduino mediante un puerto USB.
- II. Se iniciará una ventana de asistente de instalación de hardware el cual automáticamente intentará encontrar el controlador.
- III. Al no encontrar el controlador en el sitio Windows Update, se tendrá que elegir la opción de instalar un controlador manualmente.
- IV. En el paquete de descarga también se pueden encontrar los controladores por lo cual solo se tiene que elegir la ruta correspondiente.

De surgir alguna complicación, en la dirección www.arduino.cc/es/Guía/Windows se puede encontrar ayuda suficiente para la instalación adecuada del IDE de Arduino.

Entorno de desarrollo de Arduino

La interfaz de Arduino ha ido evolucionando a partir de su origen. La interfaz de usuario es el vínculo entre el usuario y el programa de computadora. El entorno de desarrollo que presenta Arduino es un conjunto de menús a través de los cuales el usuario se comunica con el programa, este es un entorno bastante amigable para los usuarios.



Barra de herramientas

I. Verificar/Compilar

Compila el código en busca de errores.



II. Subir

Transfiere el código del ordenador a la placa Arduino.



III. Nuevo

Crea una nueva rutina para la placa Arduino.



IV. Abrir

Muestra un menú con todas las rutinas o programas que se han creado con anterioridad.



V. Guardar

Guarda los programas creados.



VI. Monitor serie

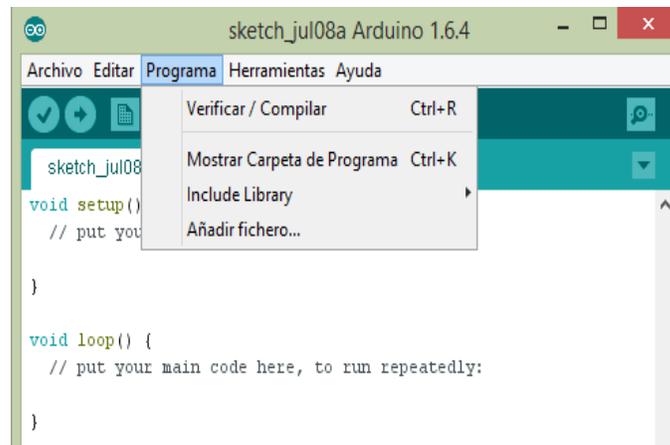
Muestra datos serie enviados desde la placa Arduino. Para enviar datos a la placa.



Menús

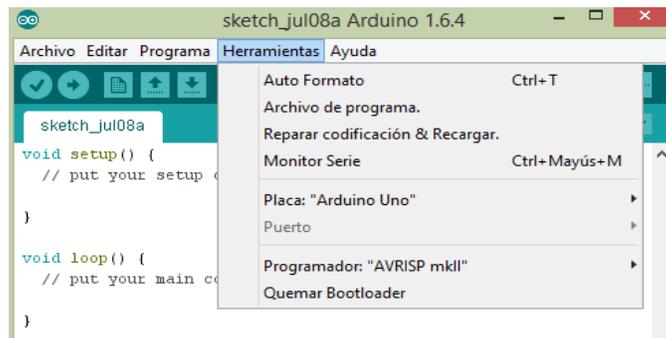
VI. Programa

- a. Verificar/Compilar. Comprueba el código en busca de errores.
- b. Mostrar carpeta del programa. Abre la carpeta de programas en el ordenador.
- c. Include Library. Utiliza una librería en el código. Trabaja añadiendo **#include** en la cima del código con el que se esté trabajando.
- d. Añadir fichero. Añade otro fichero fuente al programa. El nuevo archivo aparece en una nueva pestaña en la ventana del programa actual. Esto facilita y agranda proyectos con múltiples archivos fuente.



VII. Herramientas

- a. Auto formato. Formatea el código.
- b. Archivos de programa. Se selecciona en donde se va a archivar el programa (se archivará como .zip).
- c. Monitor serie. Inicia la comunicación serial con la placa Arduino.
- d. Placa Arduino UNO. Se selecciona la placa con la que se está trabajando, en este menú aparecen todas las placas Arduino que existen en el mercado.
- e. Puerto. Este menú contiene todos los dispositivos serie (real o virtual) del ordenador. Debería actualizarse automáticamente cada vez que se abre el menú "Herramientas". En nuestro caso COM3³³
- f. Programador: "AVRISP mkII". Tipo de programador.
- g. Quemar bootloader. Los elementos en este menú permiten grabar un bootloader en la placa con una variedad de programadores. Esto no es necesario para uso normal de una placa Arduino, pero puede ser útil si se trabaja con ATmegas adicionales o se está construyendo una placa por cuenta propia.



³³ El COM es un puerto serie o puerto serial, es una interfaz de comunicaciones de datos digitales. En sí, el USB es la evolución del puerto COM.

Anexo 2. Código de Arduino

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(7,8,9,10,11,12);
volatile float rpmcont;
float Calc;
int pin_sensor=3;
void rpm(){
rpmcont++;
}

void setup() {

Serial.begin(9600);
pinMode(5, OUTPUT);
pinMode(6, OUTPUT);
pinMode(13,OUTPUT);
Serial.print("Medidor de Flujo de Agua \n");
lcd.begin(16,2);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.write("Iniciando");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.write("Medidor de Flujo");
delay(2000);
lcd.clear(); //borramos texto en LCD despues del delay
rpmcont=0;

attachInterrupt(1, rpm, RISING);

}

void loop() {
do{
delay(2000);
digitalWrite(13,HIGH);
delay(2000);
digitalWrite(5, HIGH);
delay(2000);
digitalWrite(6, HIGH);

rpmcont=0; // coloca la variable en cero listo para calcular
sei(); // habilita las interrupciones
delay(1000);
```

```

cli(); // deshabilita las interrupciones
Calc=(rpmcont*60/400);

Serial.print(Calc,DEC); // imprimimos en PC
Serial.print(" L/min - \r\n"); //imprime litros / hora

lcd.setCursor(7,0);
lcd.print(Calc);
lcd.print("L/min");
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(rpmcont);
lcd.print("rps");

attachInterrupt(1, rpm, RISING); // hacemos un refresco en las interrupciones

}while(rpmcont<5);

digitalWrite(13,LOW);
delay(10000);

do{

delay(2000);
digitalWrite(13,LOW);
delay(2000);
digitalWrite(5, HIGH);
delay(2000);
digitalWrite(6, HIGH);
rpmcont=0; // coloca la variable en cero listo para calcular
sei(); // habilita las interrupciones
delay(1000);
cli(); // deshabilita las interrupciones
Calc=(rpmcont*60/400);
Serial.print(Calc,DEC); // imprimimos en PC
Serial.print(" L/min \r\n"); //imprime litros / hora
lcd.setCursor(7,0);
lcd.print(Calc);
lcd.print("L/min");
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(rpmcont);
lcd.print("rps");

attachInterrupt(1, rpm, RISING); // hacemos un refresco en las interrupciones

}while(rpmcont<5);

digitalWrite(5,LOW);
delay(10000);

```

```

do{
delay(2000);
digitalWrite(13,LOW);
delay(2000);
digitalWrite(5, LOW);
delay(2000);
digitalWrite(6, HIGH);
rpmcont=0; // coloca la variable en cero listo para calcular
sei(); // habilita las interrupciones
delay(1000);
cli(); // deshabilita las interrupciones
Calc=(rpmcont*60/400);
Serial.print(Calc,DEC); // imprimimos en PC
Serial.print(" L/min \r\n"); //imprime litros / hora
lcd.setCursor(7,0);
lcd.print(Calc);
lcd.print("L/min");
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(rpmcont);
lcd.print("rps");

attachInterrupt(1, rpm, RISING); // hacemos un refresco en las interrupciones

}while(rpmcont<5);

}

```

Bibliografía

- Alan Lazalde, D. V. (2015). *Hardware libre: Recomendaciones para el fomento de la innovación ciudadana*. Ecuador: FLOK Society.
- Alba, C. B. (2000). Sensores: Acondicionamiento de señal. *Tecnología de Control*, (pág. 78). Durango.
- Banzi, M. (2011). *Getting Started with Arduino*. O'REILLY.
- Bolton, W. (2009). *Mecatrónica: Sistemas de control electrónico en Ingeniería mecánica y eléctrica*. Alfaomega.
- Boylestad, R. L. (2004). *Introducción al análisis de circuitos*. Pearson.
- Cesar, V. (2007). *Microcontroladores: Fundamentos y aplicaciones con PIC*. Marcombo.
- Correa, M. O. (2009). Le Corbusier: La vivienda social. *Diseño y sociedad*, 16-27.
- Cuevas, A. C. (2010). *Código de edificación de vivienda*. México: CONAVI.
- Delgado, F. J. (2013). *Algoritmos resueltos con diagramas de flujo y pseudocódigo*. Aguascalientes: Printed and made in México.
- Diosdado, R. (2014). *Manual de Arduino: Programación y conceptos básicos*. Madrid: Maker Zona.
- Ebel, F., & Nestel, S. (1993). *Sensores para la Técnica de procesos y Manipulación*. Festo Didactic KG.
- Evans, B. (2007). *Arduino Notebook: A Beginner's Reference Writer*. San Francisco: Creative Commons.
- Guzmán, O. C. (2012). *Regularización y almacenamiento de agua para uso y consumo humano*. Michoacán: UMSNH.
- Health. (2011). *Patente nº DOH 331-380s*. Washington.
- Herrador, R. E. (2009). *Guía de Usuario de Arduino*. Córdoba: Creative Commons.
- Joaquín, G. Á. (2010). Temas Escogidos sobre Física y el Concepto de Realidad. *UNAM*.
- Joseph Kroon, M. S. (1984). Water Hammer: Causes and Effects. *American Water Works Association*, 39-45.
- Kwasny, W., & Blazejewski, A. (2007). *Mecatrónica. Módulo 5: Componentes mecatrónicos*. Polonia: DG Educación y Cultura.

- Lundberg, G. A. (1962). *Control of surges in liquid pipelines*. Pipeline Engineer.
- Marroquín, C. P. (2014). Evaluación del riesgo en sistemas de distribución de agua potable en el marco de un plan de seguridad del agua. *EIA*, 169.
- Mercadillo, A. L. (2010). *Paradigmas de la programación: JavaScript y Python*. México: INTELMEX.
- Mott, R. L. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada*. Ohio: PEARSON.
- Ortiz, L. L. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. José Luis Leuge Tamargo: 2009.
- Pareyón, A. S. (2010). Las mejores prácticas de la sociedad en autogestión y la producción habitacional. *Primer Encuentro Académico CONAVI-CONACYT* (pág. 53). México, D.F.: CENVI.
- Robert, F. (1994). *The language of Machines: an Introduction to Computability and Formal Languages*. Freenan and Company.
- Rojas, A. A. (2008). *Sensores utilizados en la Automatización Industrial*. San José.
- Sáenz, G. M. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Colombia: Alfaomega.
- Sánchez C, J. (2012) La vivienda "Social" en México. Pasado - Presente -Futuro. JSa
- Sapir, E. (2008). *Language*. Estados Unidos: BiblioBazaar.
- Seat, S. (1998). *Gestiones electrónicas. Sensores y Actuadores*. Granada: TECFOTO.
- Sudamericana, J. (2013). *Válvulas a Solenoide: Controles de Nivel*. Buenos Aires: Jefferson Sudamericana.
- Tovar, E. A. (1993). *Hidráulica Elemental*. México: Chapingo.
- Villá, I. S. (2005). *Abastecimiento de Agua y Saneamiento*. Cataluña: Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres.
- Valentín Rivera Molina, J. I. (2010). *Programa de mejoramiento de vivienda: Una experiencia exitosa de producción social de vivienda*. México: Katholische Zentral Stelle.
- Wekker, J. W. (2004). *Sistemas de bombeo: Características y dimensionado*. Caracas: W&A.