



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**ESTRUCTURA DE CONTROL:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE TANQUES
NO INTERACTUANTES PARA
CONTROLAR NIVEL POR MEDIO DE
SENSORES HACIENDO USO DE UN
MICROCONTROLADOR TIPO ARDUINO.**

TESIS

Que para obtener el título de

INGENIERO QUÍMICO

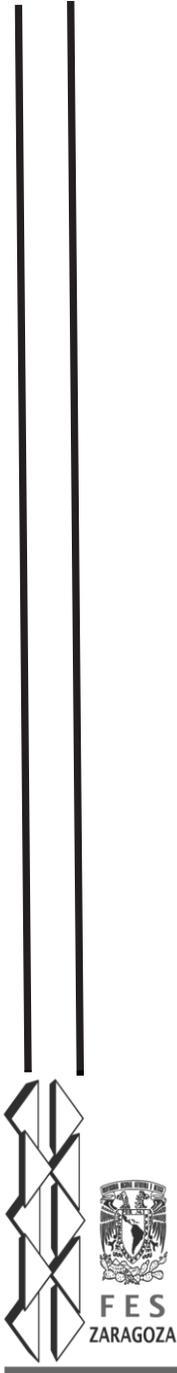
P R E S E N T A N:

MAURICIO PÉREZ ÁLVAREZ

DIANA MONTSERRAT RODRÍGUEZ ALZATI

ASESOR DE TESIS:

EDUARDO VÁZQUEZ ZAMORA



CIUDAD DE MÉXICO, A 22 DE JUNIO DEL 2018.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS.

A mi madre que desde pequeño me apoyo para que siguiera mis metas, no sólo económicamente sino también moralmente para hacer siempre lo correcto. Porque cada que bajaba la guardia ella me llamaba la atención para recuperarla.

A mi abuelita que en todo momento estuvo conmigo, ella fue mi madre en toda la extensión de la palabra pues su apoyo siempre fue sin reservas. Porque cada que llegaba del trabajo o de la universidad siempre me preguntaba, ¿Ya comiste?, y gracias a ella entendí que para alcanzar las metas no se debe de descuidar lo esencial que uno tiene sus principios.

A mis hermanos que con ahínco me presionaban de una y otra manera para no desertar cuando lo estaba pensando, que cada que me veían derrotado buscaban la manera de motivarme. Que siempre que sentía que faltaba algo ellos me ayudaban a encontrarlo.

Al ingeniero Eduardo Vázquez Zamora que nos apoyó de mil maneras, ayudándonos a corregir errores, dándonos consejos para que vayamos construyendo nuestro equipo y resolviendo dudas en la programación; por el apoyo económico y aportación de ideas.

A la UNAM, especialmente a la facultad estudios superiores Zaragoza, por la preparación académica y por haberme permitido ser parte de la comunidad estudiantil. Y a mi compañera Diana por el desempeño y apoyo para concluir el trabajo.

Sinceramente...

Mauricio Pérez Álvarez

AGRADECIMIENTOS.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, la cual me brindó todo y me abrió sus puertas del conocimiento.

Agradezco a mi asesor de tesis Eduardo Vázquez Zamora, por la dedicación y apoyo brindado a este trabajo, por el respeto, ideas y dirección que han facilitado la misma.

A la Dra. Marina Caballero Díaz, por las ideas que nos ha brindado para este proyecto.

A mi madre, por ser el pilar más importante de mi formación profesional, ser mi amiga, y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. Gracias por la paciencia que has tenido para enseñarme, cuidarme y por todo el amor que me das.

A mi padre, aunque ya no te encuentres físicamente conmigo, estuviste presente para mí en todo momento, te prometí que terminaría una carrera y heme aquí, te extraño y espero estés muy orgulloso de mi. Siempre estarás en mi corazón.

A Antonio, gracias por ayudarnos a salir adelante, por los consejos, y por estar ahí cuando lo necesitaba.

A Carlos, por ser una parte importante en mi vida, gracias por tu amor, por presionarme para terminar esta tesis, motivarme a hacer las cosas de mejor manera y por hacerme creer en mí.

A mi abuelita, gracias por tus sabios consejos, por el apoyo que me das y por creer en mí.

A mi compañero de tesis Mauricio, por su confianza y apoyo para poder culminar esta tesis.

Agradezco a mis amigos, Jesica e Iván, por pasar a mi lado los mejores momentos de mi vida universitaria. Así mismo, agradezco a Jaqueline, Mayra, y Monserrat, por su amistad, que con el paso de los años seguimos estando juntas en las buenas y en las malas.

Sinceramente...

Diana Montserrat Rodríguez Alzati

ÍNDICE

1. Capítulo I.- Fundamentos básicos para el diseño del sistema.....	- 2 -
1.1 Dinámica de un proceso.	- 2 -
1.2 Sistemas de control.....	- 3 -
1.2.1 Ejemplos de sistemas de control.	- 5 -
1.3 Sistemas de control de nivel.	- 9 -
1.4 Medición de nivel.	- 10 -
1.4.1 Métodos de medición de nivel.	- 10 -
1.4.2 Medición de nivel por ultrasonido.....	- 12 -
1.5 Resistencia y capacitancia de sistemas de líquido.	- 13 -
1.6 Sistema de control en lazo abierto (Feed Forward).	- 14 -
1.7 Sistemas de control en lazo cerrado (Feed Back).....	- 15 -
1.8 ¿Por qué controlar procesos?	- 17 -
1.9 Diseño y compensación de un sistema de control.	- 18 -
1.10 Control proporcional-integral-derivativo (PID).	- 18 -
1.11 Modelado matemático de un sistema de control.	- 20 -
1.12 Funciones de transferencia y respuesta.	- 23 -
2. Capítulo II.- Microcontrolador.	- 29 -
2.1 Electricidad.	- 29 -
2.2 Corriente continua y alterna.	- 29 -
2.3 Circuitos en serie y en paralelo.	- 32 -
2.4 ¿Para qué sirve y cómo funciona un Microcontrolador?	- 35 -
2.5 Arduino ¿Qué es y para qué funciona?.....	- 35 -
2.6 ¿Por qué Arduino?	- 37 -

2.7 Señal analógica.....	- 38 -
2.8 Señal digital.....	- 39 -
2.9 Elección de tipo de Arduino a utilizar	- 40 -
2.10 Diagrama de pines.	- 40 -
2.11 Display.	- 41 -
2.9 Programación.....	- 42 -
3. Capítulo III.- Diseño y montaje del sistema.....	- 43 -
3.1 Descripción del equipo.....	- 43 -
3.2 Diagrama de flujo	- 44 -
3.3 Instrumentación.....	- 45 -
3.3.1 Sensor de nivel.	- 45 -
3.3.2 Sensor ultrasónico.	- 46 -
3.3.3 Características para elegir un sensor.	- 48 -
3.3.4 Bomba	- 49 -
3.3.5 Válvulas solenoides.	- 50 -
3.4 Estructura de control.	- 51 -
3.5 Montaje del sistema	- 51 -
3.5.1 Lista de equipo electrónico	- 59 -
3.5.2 Lista de accesorios, tubería y equipo.....	- 59 -
3.6 Código en Arduino.....	- 63 -
3.7 Protocolo de uso del sistema de tanques no interactuantes.....	- 64 -
Resultados	
Análisis de resultados	
Conclusiones	
Bibliografía	
Anexos	

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Sistema de control.....	- 5 -
Fig. 2 Sistema de control de velocidad.....	- 6 -
Fig. 3 Sistema de control de temperatura.	- 7 -
Fig. 4 Sistemas empresariales.	- 8 -
Fig. 5 Medición de nivel por ultrasonido.	- 12 -
Fig. 6 Sistema de nivel de líquidos.....	- 13 -
Fig. 7 Sistema de control lazo abierto.	- 14 -
Fig. 8 Sistema de control lazo cerrado.	- 16 -
Fig. 9 Bloques de control PID.....	- 20 -
Fig. 10 Sistema lazo cerrado.....	- 27 -
Fig. 11 Comportamiento corriente continua.	- 30 -
Fig. 12 Comportamiento de corriente alterna.	- 32 -
Fig. 13 Circuito en serie	- 33 -
Fig. 14 Circuito en paralelo.	- 34 -
Fig. 15 Arduino Mega 2560.....	- 37 -
Fig. 16 Señal analógica.....	- 38 -
Fig. 17 Señal digital.....	- 39 -
Fig. 18 Display parte frontal.	- 42 -
Fig. 19 Sistema de tanques no interactuantes.....	- 43 -
Fig. 20 Sensor de nivel de agua.....	- 45 -

Fig. 21 Sensor ultrasónico.....	- 46 -
Fig. 22 Diagrama del sensor HC-SR04.....	- 47 -
Fig. 23 Electrobomba.....	- 49 -
Fig. 24 Válvula solenoide.....	- 50 -
Fig. 25 Barrenado de estructura.....	- 51 -
Fig. 26 Remache con ángulos.....	- 52 -
Fig. 27 Soldadura de estructura.....	- 52 -
Fig. 28 Estructura de tanques.....	- 53 -
Fig. 29 Tanques fijados a la base.....	- 53 -
Fig. 30 Montaje de bomba con tubería.....	- 54 -
Fig. 31 Instalación de tubería.....	- 54 -
Fig. 32 Cableado de válvulas.....	- 55 -
Fig. 33 Panel de control del sistema.....	- 55 -
Fig. 34 Conexión de bombas.....	- 56 -
Fig. 35 Conexión de sensores.....	- 56 -
Fig. 36 Teclado matricial.....	- 57 -
Fig. 37 Acomodo del Display.....	- 57 -
Fig. 38 Prototipo finalizado.....	- 58 -
Fig. 39 Programación en Arduino.....	- 58 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Especificaciones del sensor HC-SR04.....	- 46 -
Tabla 2 Características para elegir un sensor.	- 48 -
Tabla 3 Propiedades de la bomba.....	- 49 -
Tabla 4 Variables del sistema.	- 51 -
Tabla 5 Lista de accesorios y equipos del prototipo.....	- 59 -
Tabla 6 Lista de accesorios, tubería y equipo del prototipo.	- 60 -
Tabla 7 Costo total del prototipo.....	- 60 -
Tabla 8 Dimensiones del prototipo.....	- 65 -

OBJETIVOS

- Diseño y construcción de una estructura de control, la cual tiene por objetivo controlar el nivel de los tanques a partir de conceptos teóricos de dinámica y control de procesos, haciendo uso de un microcontrolador tipo Arduino Mega 2560.

PARTICULARES

- Desarrollar un código de programación del microcontrolador Arduino Mega que está basado en lenguaje C.
- Utilizar sensores ultrasónicos para determinar el nivel de los tanques.
- Construcción un prototipo con el cual los alumnos podrán comprender que es una estructura de control.

RESUMEN

Este prototipo se creó con el fin de ampliar el aprendizaje y provocar mejoras dentro de la asignatura de Dinámica y Control de Procesos de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

La realización de este sistema de tanques no interactuantes ayudará a familiarizarse y comprender mejor los procesos industriales, como es la instrumentación y la automatización en este caso, el control de nivel de un sistema de tanques, el cual será controlado empleando un microcontrolador tipo Arduino y haciendo uso de un lenguaje de programación de alto nivel, para el desarrollo de la secuencia de instrucciones (programa), que controlará el sistema de tanques.

INTRODUCCIÓN

El enfoque de esta tesis tiene por objetivo diseñar y construir un sistema de tanques para realizar el control de nivel de líquidos empleando un microcontrolador, esto orientado para su utilización en prácticas de control automático para representar un sistema real.

Así mismo, dentro de esta se presentan algunos de los conocimientos necesarios para el funcionamiento y operación del prototipo, por lo cual en los capítulos se analizan algunos de los fundamentos necesarios para su fabricación y puesta en marcha, como las señales de entrada y de salida, sintonización del microcontrolador para el monitoreo de nivel, conceptos básicos de eléctrica, sensores, los cuales transforman las magnitudes físicas del sistema a señales eléctricas o mecánicas que proporcionan información de corrección al sistema de control, entre otros.

La constante evolución en la automatización de un proceso, tiene la finalidad de hacerlo constante, es decir, repetitivo sin que interfiera un operador, siempre y cuando no se requiera realizar algún cambio en las variables para que el operador lo realice.

Por tal motivo, la importancia de esta tesis radica en la necesidad de implementar un prototipo y emplear un lenguaje de programación más un microcontrolador como es el Arduino, y así reforzar algunos conocimientos de la materia de Dinámica y Control de Procesos como es la instrumentación, estructuras de control, lazos de control, con el fin de establecer un control automático al sistema mencionado.

1. Capítulo I.- Fundamentos básicos para el diseño del sistema.

1.1 Dinámica de un proceso.

La dinámica de procesos implica factores que no aparecen en el análisis a régimen permanente, tales como estabilidad de los puntos de trabajo, variaciones que puedan ocurrir en las entradas del sistema y periodos de operación del sistema.

Por lo tanto, vemos que las variaciones en las condiciones de un proceso o equipo deben ser estudiadas, ya que no siempre se conoce el comportamiento dinámico del sistema.

Para garantizar la operabilidad del proceso, se deben tomar acciones de control, esto es, el manejo de ciertas variables o parámetros, para que el sistema opere en condiciones deseadas.

El estudio de la dinámica del proceso presenta una gran importancia por varias razones:

- Hay sistemas que no funcionan a régimen permanente;
- Los sistemas en flujo diseñados para trabajar en estado estacionario, pueden recibir pequeñas perturbaciones que los aparten del punto de diseño, por lo tanto, es necesario evaluar la estabilidad del mismo;
- Los sistemas en flujo tienen periodos de puesta en marcha o transiciones de un punto de operación a otro;
- Conocer la dinámica del proceso nos permite diseñar de mejor modo el sistema de control y eventualmente implementarlo en automatismos.

El objetivo principal es conocer el comportamiento dinámico de nuestro sistema de tanques no interactuantes, y cuando se analicen los sistemas de control, se hará desde esta perspectiva; y podremos implementar la debida automatización.

1.2 Sistemas de control.

El operador de un proceso usualmente monitorea ciertas variables y actúa sobre otras de modo de tener controlado el proceso. Por tal motivo es muy práctico realizar la automatización de los procesos.

Esto es, conectando las variables medidas con las manipuladas a través de un controlador, que actúa de acuerdo a una lógica definida sobre un elemento de control.

El sistema de control puede definirse como aquel que compara el valor de la variable o condición a controlar con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación o perturbación existente sin que tenga que intervenir algún operario.

Sus principales componentes son:

Objetivos de control:

El objetivo del control automático de procesos es mantener en determinado valor de operación las variables del proceso (temperaturas, presiones, flujos, nivel, etc.) en valores próximos a los deseados a pesar de las posibles perturbaciones. Los procesos son de naturaleza dinámica, en ellos siempre ocurren cambios y si no se emprenden las acciones pertinentes, las variables importantes del proceso, es decir, aquellas que se relacionan con la seguridad, la calidad del producto y los índices de producción, no cumplirán con las condiciones de diseño.

Componentes del sistema de control:

- Sensor, que también se conoce como elemento primario.
- Transmisor, el cual se conoce como elemento secundario.
- Controlador, que es el “cerebro” del sistema de control.
- Elemento final de control, como pueden ser válvulas de control, bombas de velocidad variable, los transportadores y los motores eléctricos.

Resultados o salidas:

- Medición (M): la medición de la variable que se controla se hace generalmente mediante la combinación de sensor y transmisor.
- Decisión (D): con base en la medición, el controlador decide que hacer para mantener la variable en el valor que se desea.
- Acción (A): como resultado de la decisión del controlador se debe efectuar una acción en el sistema, generalmente ésta es realizada por el elemento final de control.

En términos más técnicos, los objetivos se pueden identificar como entradas o señales actuantes y los resultados también se llaman salidas o variables controladas.

Ahora es necesario definir algunos de los términos que se usan en el campo del control automático de proceso.

El primer término es **variable controlada**, ésta es la variable que se debe mantener o controlar dentro de algún valor deseado. Estos parámetros indican la calidad del producto o las condiciones de operación del proceso.

El segundo término es **punto de control**, el valor que se desea tenga la variable controlada.

La **variable manipulada** es la variable que se modifica o manipula para mantener a la variable controlada en el punto de control (punto de fijación o de régimen).

Finalmente, cualquier variable que ocasiona que la variable de control se desvíe del punto de control se define como perturbación o trastorno, las posibles perturbaciones son la temperatura de entrada en el proceso $T(t)$, el flujo del proceso $q(t)$, la calidad de la energía del vapor, las condiciones ambientales, la composición del fluido que se procesa, la contaminación, etc.

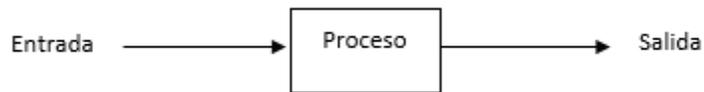


Fig. 1 Sistema de control.

Con esto se puede concluir que el objetivo del sistema de control automático de proceso es utilizar la variable manipulada para mantener a la variable controlada en el punto de control a pesar de las perturbaciones.

En algunos procesos la variable controlada se desvía del punto, de control a causa de las perturbaciones. El término control regulador se utiliza para referirse a los sistemas diseñados para compensar las perturbaciones. A veces la perturbación más importante es el punto de control mismo, esto es, el punto de control puede cambiar en función del tiempo (lo cual es típico de los procesos por lote), en consecuencia, la variable controlada debe ajustarse al punto de control; el término servo control se refiere a los sistemas de control que han sido diseñados con tal propósito.

1.2.1 Ejemplos de sistemas de control.

Sistema de control de velocidad: La cantidad de combustible que se admite en la máquina se ajusta de acuerdo con la diferencia entre la velocidad de la máquina que se pretende y la velocidad real.

La secuencia de acciones puede describirse del modo siguiente: el regulador de velocidad se ajusta de modo que, a la velocidad deseada, no fluya aceite a presión en ningún lado del cilindro de potencia. Si la velocidad real cae por debajo del valor deseado debido a una perturbación, la disminución de la fuerza centrífuga del regulador de velocidad provoca que la válvula de control se mueva hacia abajo, aportando más combustible, y la velocidad del motor aumenta hasta alcanzar el valor deseado.

Por otra parte, si la velocidad del motor aumenta por encima del valor deseado, el incremento en la fuerza centrífuga del regulador provoca que la válvula de control se mueva hacia arriba. Esto disminuye el suministro de combustible, y la velocidad del motor se reduce hasta alcanzar el valor deseado.

En este sistema de control de velocidad, la planta (el sistema controlado) es la máquina y la variable controlada es la velocidad de la misma. La diferencia entre la velocidad deseada y la velocidad real es la señal de error. La señal de control (la cantidad de combustible) que se va a aplicar a la planta (la máquina) es la señal de actuación. La entrada externa que se aplica para alterar la variable controlada es la perturbación. Un cambio inesperado en la carga es una perturbación.

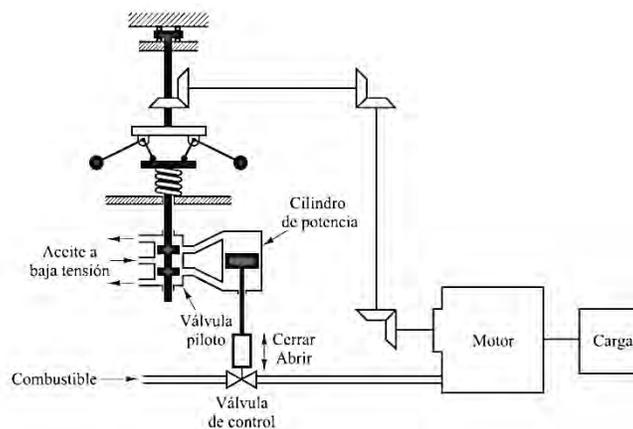


Fig. 2 Sistema de control de velocidad. En Ingeniería de control moderna (p.4), por K. Ogata, 2010, Madrid. Pearson Educación.

Sistema de control de temperatura: La temperatura del horno eléctrico se mide mediante un termómetro, que es un dispositivo analógico. La temperatura analógica se convierte a una temperatura digital mediante un convertidor A/D. La temperatura digital se introduce en un controlador mediante una interfaz. Esta temperatura digital se compara con la temperatura de entrada programada, y si hay una discrepancia (error) el controlador envía una señal al calefactor, a través de una interfaz, amplificador y relé, para hacer que la temperatura del horno adquiriera el valor deseado.

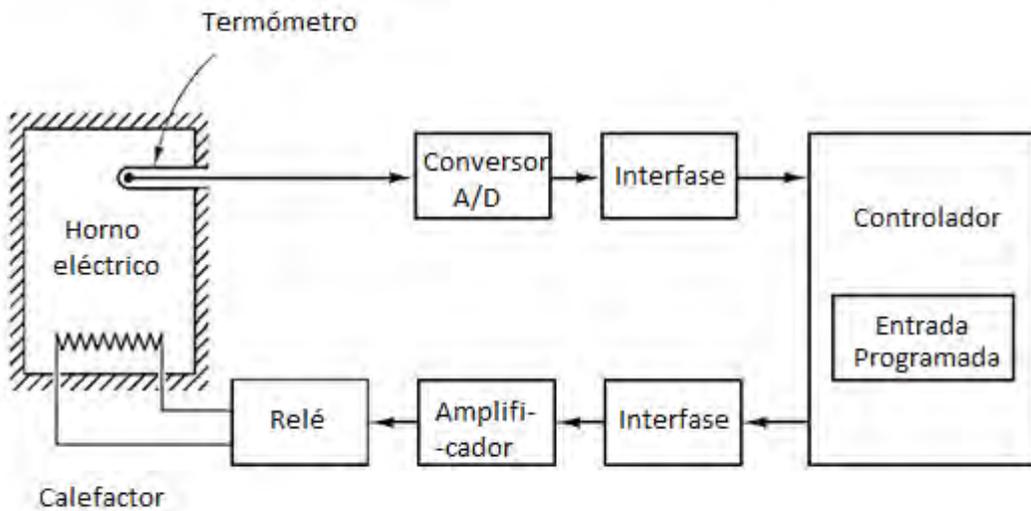


Fig. 3 Sistema de control de temperatura. En *Ingeniería de control moderna* (p.5), por K. Ogata, 2010, Madrid. Pearson Educación.

Sistemas empresariales: Un sistema empresarial está formado por muchos grupos. Cada tarea asignada a un grupo representará un elemento dinámico del sistema. Para la correcta operación de este sistema deben establecerse métodos de realimentación para informar de los logros de cada grupo. El acoplamiento cruzado entre los grupos funcionales debe reducirse a un mínimo para evitar retardos de tiempo que no son deseables en el sistema. Cuanto más pequeño sea dicho acoplamiento, más regular será el flujo de señales y materiales de trabajo.

Un sistema empresarial es un sistema en lazo cerrado. Un buen diseño del mismo reducirá el control administrativo requerido. Obsérvese que las perturbaciones en este sistema son la falta de personal o de materiales, la interrupción de las comunicaciones, los errores humanos, etc.

El establecimiento de un buen sistema de estimación, basado en estadísticas, es imprescindible para lograr una administración adecuada. Obsérvese que es un hecho bien conocido que el comportamiento de tal sistema puede mejorar mediante el uso de tiempo de previsión o anticipación.

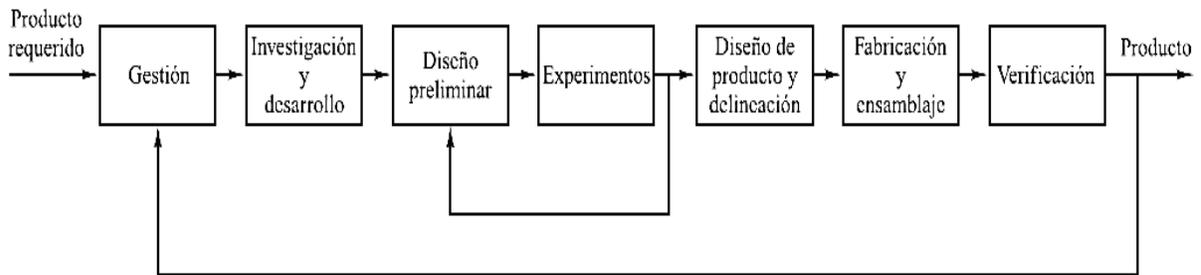


Fig. 4 Sistemas empresariales. En *Ingeniería de control moderna* (p.6), por K. Ogata, 2010, Madrid. Pearson Educación.

Sistema de control robusto. El primer paso para el diseño de un sistema de control es la obtención del modelo matemático de la planta u objeto de control. En realidad, cualquier modelo de una planta que se quiere controlar incluirá un error debido al proceso de modelado. Esto es, la planta real difiere del modelo que se va a utilizar en el diseño del sistema de control.

Una aproximación razonable para asegurar que el controlador diseñado basado en un modelo funcionará adecuadamente cuando se utilice con la planta real, consiste en asumir desde el comienzo que existe una incertidumbre o error entre la planta real y su modelo matemático e incluir dicha incertidumbre o error en el proceso de diseño del sistema de control. El sistema de control diseñado basado en esta aproximación se denomina sistema de control robusto.

$$\left\| \frac{W_m(s)K(s)G(s)}{1 + K(s)G(s)} \right\|_{\infty} < 1 \quad \text{para estabilidad robusta.} \quad \text{ecuación (15)}$$

$$\left\| \frac{W_s(s)}{1 + K(s)G(s)} \right\|_{\infty} < 1 \quad \text{para comportamiento robusto.} \quad \text{ecuación (16)}$$

Hay muchas desigualdades de este tipo que se tienen que satisfacer en muchos sistemas diferentes de control robusto. (Estabilidad robusta significa que el controlador $K(s)$ garantiza la estabilidad interna de todos los sistemas que pertenecen a un grupo de sistemas que representan el sistema de la planta real. Comportamiento robusto significa que el comportamiento especificado se satisface para todos los sistemas que pertenecen a este grupo).

1.3 Sistemas de control de nivel.

Un sistema de control de nivel es toda una estructura de instrumentación con parte lógica sobre una construcción hidráulica cuyo objetivo es garantizar el nivel de un líquido en un rango de operación establecido previamente.

En el presente trabajo de tesis se establecerá el control de nivel para tanques de almacenamiento de acrílico, en donde el control tiene la función de mantener el nivel de agua a la altura deseada, y evitar el desperdicio del líquido.

Para el control de nivel se utilizará sensor de nivel, así como sensor ultrasónico, que mediante una relación matemática puede hallarse el nivel, y para manipular el flujo del agua se realiza mediante válvulas solenoides, utilizando un controlador tipo Arduino, para aumentar o disminuir la entrada de agua al tanque.

Muchos procesos en la actualidad requieren que un determinado fluido sea bombeado de un lugar a otro. Por tal motivo, se han implementado sistemas sofisticados para su regulación y control.

Algunos ejemplos de la industria en donde el control de nivel y flujo son importantes:

- Petroquímica.
- Fabricación de papel.
- Farmacéutica.
- Tratamiento de agua.
- Industria alimenticia.

1.4 Medición de nivel.

La medición de nivel se define como la determinación de la posición de la interfase entre dos medios. Estos son usualmente fluidos, pero pueden existir sólidos o combinación de ellos. La interfase puede existir entre un líquido y un gas, un líquido y su vapor, dos líquidos, un sólido o un sólido diluido y un gas.

La medición de nivel de líquidos puede parecer sencilla, pero puede convertirse en un problema más o menos difícil cuando el material es corrosivo, cuando se mantiene a altas presiones, cuando es radiactivo o cuando se encuentra dentro de un recipiente sellado en el que no conviene tener partes móviles o cuando físicamente es imposible mantenerlas.

Los dispositivos de medición de nivel trabajan midiendo: la altura de líquido sobre una línea de referencia, la presión hidrostática, el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, aprovechando características eléctricas del líquido o midiendo el tiempo que tarda una onda (sonido o radio) en regresar a un receptor.

1.4.1 Métodos de medición de nivel.

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, o bien aprovechando características eléctricas del líquido.

Los métodos más utilizados en la industria para la medición de nivel de líquidos pueden ser clasificados en métodos de medición directa e indirecta.

Existen básicamente dos métodos:

Métodos Directos:

Estos consisten en medir directamente la superficie libre del líquido a partir de una línea de referencia.

Por ejemplo:

- Observación visual directa de la altura sobre una escala graduada: medidor de vara, de tubo de vidrio, etc.
- Determinación de la posición de un flotador que descansa sobre la superficie libre del líquido: flotador y cinta, flotador y eje, etc.
- Electrodo que hacen contacto con la superficie libre del líquido.

Métodos Indirectos:

Entre los métodos de medición indirecta para la medición de nivel de líquidos se tienen los que aprovechan el empuje producido por el propio líquido, la presión hidrostática, y los que aprovechan las características del líquido.

- Medición de presión hidrostática o presión diferencial.
- Medición de fuerza de empuje.
- Medición de la radiación nuclear. Medidor radioactivo.
- Reflexión de ondas de radio, de radar o sónicas desde la superficie libre del líquido. Medidor ultrasónico.
- Medición de capacitancias eléctrica.

Estos métodos tienen un error inherente, ya que el nivel se determina a partir de la medida de otra variable.

1.4.2 Medición de nivel por ultrasonido.

Esté método se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante, la superficie libre y la recepción del eco de mismo en el receptor. En este caso el retardo en la lectura o captación del eco depende del nivel del tanque.

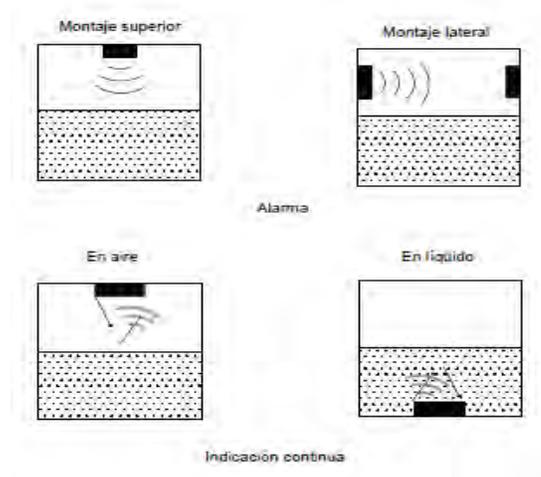


Fig. 5 Medición de nivel por ultrasonido.

Estos se pueden usar como alarma, si es así, los sensores vibran con una cierta frecuencia y se amortiguan (disminuye la frecuencia) cuando el líquido los toca. En este caso el montaje puede ser lateral o superior.

Se pueden utilizar también como indicación continua, en este caso la fuente de ultrasonido genera impulsos que son detectados por el receptor una vez transcurrido el tiempo de ida y vuelta de la onda a la superficie del sólido o líquido.

1.5 Resistencia y capacitancia de sistemas de líquido.

La resistencia R para el flujo de líquido en tal tubo se define como el cambio en la diferencia de nivel (la diferencia entre el nivel de líquido en los dos tanques) necesaria para producir un cambio de una unidad en el caudal; es decir:

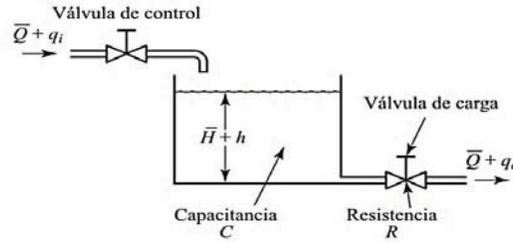


Fig. 6 Sistema de nivel de líquidos.

$$R = \frac{\text{Cambio de diferencia de nivel}}{\text{Cambio de velocidad de flujo}} \quad \text{Ecuación (6)}$$

La capacitancia C de un tanque se define como el cambio necesario en la cantidad de líquido almacenado, para producir un cambio de una unidad en el potencial (altura). (El potencial es la cantidad que indica el nivel de energía del sistema.)

$$C = \frac{\text{Cambio en el líquido almacenado}}{\text{Cambio en la altura}} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Debe señalarse que la capacidad (m^3) y la capacitancia (m^2) son diferentes. La capacitancia del tanque es igual a su área transversal. Si esta es constante, la capacitancia es constante para cualquier altura.

1.6 Sistema de control en lazo abierto (Feed Forward).

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora.

El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa.

Los sistemas de control de lazo abierto se pueden dividir en dos partes: el controlador y el proceso controlado. Una señal de entrada o comando r se aplica al controlador, cuya salida actúa como señal actuante; la señal actuante controla el proceso controlado de tal forma que la variable controlada se desempeñe de acuerdo a lo estándares preestablecidos. En los casos simples, el controlador puede ser un amplificador, unión metálica, filtro u otro elemento de control. En los casos más complejos, el controlador puede ser una computadora tal como un microprocesador.



Fig. 7 Sistema de control lazo abierto.

Ventajas:

- En lazo abierto la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea adecuada. En los sistemas de lazo abierto no existen problemas de estabilidad.
- Construcción simple y facilidad de mantenimiento.
- Menos costosos que el correspondiente sistema en lazo cerrado.
- No hay problemas de estabilidad.

Desventajas:

- Las perturbaciones y los cambios en la calibración originan errores, y la salida puede ser diferente de lo que se desea.
- Para mantener la calidad requerida en la salida, es necesaria una calibración de vez en cuando.

1.7 Sistemas de control en lazo cerrado (Feed Back)

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente.

En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado.

El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema.

Lo que le hace falta a un sistema de lazo abierto para ser más exacto, es una conexión o realimentación desde la salida hacia la entrada del sistema. Para obtener un control más exacto, la señal controlada debe ser realimentada y comparada con la entrada de referencia, y se debe enviar una señal actuante proporcional a la diferencia de la entrada y salida a través del sistema para corregir el error. Un sistema con una o más trayectorias de realimentación se denomina sistema en lazo cerrado.

La realimentación se usa para reducir el error entre la entrada de referencia y la salida del sistema.

La reducción del error del sistema sólo es uno de los efectos más importantes que la realimentación realiza sobre el sistema, pues también tiene efectos en características del desempeño del sistema como la estabilidad, ancho de banda, ganancia global, perturbaciones y sensibilidad.

Si la realimentación se utiliza para propósitos de control se identifica fácilmente. Sin embargo, existen numerosas situaciones en donde un sistema físico, que normalmente se reconocería como un sistema inherente no realimentado, se vuelve uno realimentado cuando se observa de cierta manera.



Fig. 8 Sistema de control lazo cerrado.

Ventajas:

- El uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema.
- En lazo cerrado los sistemas pueden presentar problemas de estabilidad al corregir en exceso los errores y producir oscilaciones en su respuesta.
- Las perturbaciones y los cambios en la calibración originan errores, y la salida puede ser diferente de lo que se desea.
- Para mantener la calidad requerida en la salida, es necesaria una calibración de vez en cuando.

- Mayor exactitud al tratar de igualar la señal de salida con la señal de referencia.
- Menos sensibles a las perturbaciones externas.
- Menos sensibles a cambios en las características de los componentes.
- Se puede incrementar la velocidad de respuesta del sistema.

Desventajas:

- Se tienen problemas de inestabilidad.
- El sistema es más complejo, más caro y necesita mayor mantenimiento.
- Hay una pérdida de ganancia, en lazo abierto es G y en lazo cerrado $G/(1+GH)$.

1.8 ¿Por qué controlar procesos?

Dentro de los procesos industriales la medición y el control de las variables de nivel y flujo se hace necesario cuando se pretende tener una producción continua, cuando deseamos mantener una determinada presión hidrostática, cuando se requiere de control y medición de volúmenes de líquidos, o el caso más simple que no se derrame el líquido.

Ahora es conveniente enumerar algunas de las “razones” por las cuales esto es importante, estas razones son producto de la experiencia industrial, tal vez no sean las únicas, pero sí las más importantes.

- ❖ Evitar lesiones al personal de la planta’ o daño al equipo. La seguridad siempre debe estar en la mente de todos, ésta es la consideración más importante.
- ❖ Mantener la calidad del producto como la composición, pureza, color, etc. en un nivel continuo y con un costo mínimo.
- ❖ Mantener la tasa de producción de planta al costo mínimo.

1.9 Diseño y compensación de un sistema de control.

Los controladores son elementos que se le agregan al sistema original para mejorar sus características de funcionamiento, con el objetivo de satisfacer las especificaciones de diseño tanto en régimen transitorio como en estado estable.

La primera forma para modificar las características de respuesta de los sistemas es el ajuste de ganancia (control proporcional). Sin embargo, aunque por lo general el incremento en ganancia mejora el funcionamiento en estado estable, se produce una pobre respuesta en régimen transitorio y viceversa.

Por tal motivo, es necesario agregar elementos a la simple variación de ganancia, lo cual da lugar a los diversos tipos de controladores:

- Control proporcional (P).
- Control integral (I).
- Control derivativo (D).

Además, los controladores pueden interactuar entre sí, lo que da por resultado la formación de las siguientes configuraciones:

- Control proporcional-integral (PI).
- Control proporcional-derivativo (PD).
- Control proporcional-integral-derivativo (PID).

Puesto que los controladores incorporan elementos adicionales al sistema a manera de polo(s) y/o cero(s), es importante establecer cuál es el efecto sobre el sistema a consecuencia de la adición de tales elementos.

1.10 Control proporcional-integral-derivativo (PID).

Los controladores PID son muy utilizados en las industrias. Consisten en un lazo cerrado que le resta señal de salida del sistema al valor de referencia (setpoint), a esta diferencia se le llama error y es la entrada al controlador, mientras que su salida se dirige a un actuador para poder entrar al proceso, teniendo como objetivo reducir a un máximo el error.

El PID está determinado por tres parámetros que son el proporcional, integral y el derivativo. La acción proporcional depende de los errores actuales, la acción integral depende de los errores pasados y la acción derivativa es una predicción de errores futuros. Todos estos parámetros influyen en la salida del proceso, por ejemplo, la sobre oscilación y el tiempo de establecimiento.

Se dice que un control es de tipo proporcional-integral-derivativo cuando la salida del controlador $v(t)$ es proporcional al error $e(t)$, sumado a una cantidad proporcional a la integral del error $e(t)$ más una cantidad proporcional a la derivada del error $e(t)$:

$$v(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Ecuación (27)

Por lo que en el dominio s le corresponde la expresión:

$$V(s) = K_p E(s) + \frac{K_p}{T_i s} E(s) + K_p T_d s E(s) \quad \therefore \quad G_c = \frac{V(s)}{E(s)} = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right]$$

Ecuación (28)

$$G_c(s) = \frac{V(s)}{E(s)} = K_p \left[\frac{s + \frac{1}{T_i} + T_d s}{s} \right] = G_c(s) = \frac{V(s)}{E(s)} = K_p T_d \left[\frac{s^2 + \left(\frac{1}{T_i}\right)s + \frac{1}{T_i T_d}}{s} \right]$$

Ecuación (29)

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

Ecuación (30)

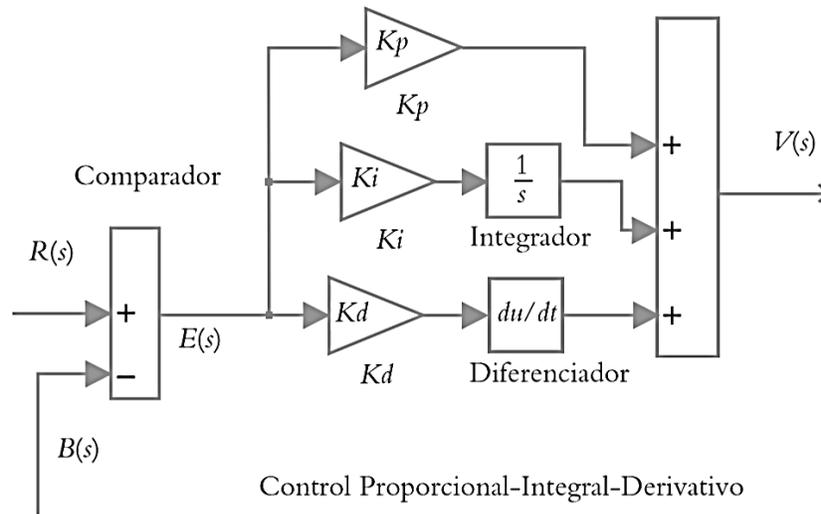


Fig. 9 Bloques de control PID.

Como conclusión, se enumeran las principales características de los diferentes tipos de controladores: P, PI, PD y PID.

1.11 Modelado matemático de un sistema de control.

Un modelo matemático de un sistema dinámico se define como un conjunto de ecuaciones que representan la dinámica del sistema con precisión o, al menos, bastante bien. Téngase presente que un modelo matemático no es único para un sistema determinado. Un sistema puede representarse de muchas formas diferentes, por lo que puede tener muchos modelos matemáticos, dependiendo de cada perspectiva.

Los modelos matemáticos pueden adoptar muchas formas distintas. Dependiendo del sistema del que se trate y de las circunstancias específicas, un modelo matemático puede ser más conveniente que otros. Por ejemplo, en problemas de control óptimo, es provechoso usar representaciones en el espacio de estados.

Al obtener un modelo matemático se debe establecer un compromiso entre la simplicidad del mismo y la precisión de los resultados del análisis.

Al obtener un modelo matemático razonablemente simplificado, a menudo resulta necesario ignorar ciertas propiedades físicas inherentes al sistema. En particular, si se pretende obtener un modelo matemático de parámetros concentrados lineal (es decir, uno en el que se empleen ecuaciones diferenciales), siempre es necesario ignorar ciertas no linealidades y parámetros distribuidos que pueden estar presentes en el sistema dinámico.

Sistemas lineales.

Un sistema se denomina lineal si se aplica el principio de superposición. Este principio establece que la respuesta producida por la aplicación simultánea de dos funciones de entradas diferentes es la suma de las dos respuestas individuales. Por tanto, para el sistema lineal, la respuesta a varias entradas se calcula tratando una entrada cada vez y sumando los resultados. Este principio permite desarrollar soluciones complicadas para la ecuación diferencial lineal a partir de soluciones simples. Si en una investigación experimental de un sistema dinámico son proporcionales la causa y el efecto, lo cual implica que se aplica el principio de superposición, el sistema se considera lineal.

Una ecuación diferencial es lineal si sus coeficientes son constantes o son funciones sólo de la variable independiente.

Sistemas lineales invariantes y variantes en el tiempo.

Los sistemas dinámicos formados por componentes de parámetros concentrados lineales invariantes con el tiempo se describen mediante ecuaciones diferenciales lineales invariantes en el tiempo —de coeficientes constantes. Tales sistemas se denominan sistemas lineales invariantes en el tiempo (o lineales de coeficientes constantes). Los sistemas que se representan mediante ecuaciones diferenciales cuyos coeficientes son funciones del tiempo, se denominan sistemas lineales variantes en el tiempo.

Sistemas no lineales.

Un sistema es no lineal si no se aplica el principio de superposición. Por tanto, para un sistema no lineal la respuesta a dos entradas no puede calcularse tratando cada entrada a la vez y sumando los resultados. Aunque muchas relaciones físicas se representan a menudo mediante ecuaciones lineales, en la mayor parte de los casos las relaciones reales no son verdaderamente lineales. De hecho, un estudio cuidadoso de los sistemas físicos revela que incluso los llamados «sistemas lineales» sólo lo son en rangos de operación limitados.

En la práctica, muchos sistemas electromecánicos, hidráulicos, neumáticos, etc., involucran relaciones no lineales entre las variables.

Linealización de sistemas no lineales.

En la ingeniería de control, una operación normal del sistema puede ocurrir alrededor de un punto de equilibrio, y las señales pueden considerarse señales pequeñas alrededor del equilibrio. Sin embargo, si el sistema opera alrededor de un punto de equilibrio y si las señales involucradas son pequeñas, es posible aproximar el sistema no lineal mediante un sistema lineal.

Este sistema lineal es equivalente al sistema no lineal, considerado dentro de un rango de operación limitado. Tal modelo linealizado (lineal e invariante con el tiempo) es muy importante en la ingeniería de control. El procedimiento de linealización que se presenta aquí se basa en el desarrollo de la función no lineal en series de Taylor alrededor del punto de operación y la retención sólo del término lineal. Debido a que no se consideran los términos de orden superior del desarrollo en serie de Taylor, estos términos no considerados deben ser suficientemente pequeños; es decir, las variables sólo se desvían ligeramente de la condición de operación. (De otro modo, el resultado sería inexacto.)

1.12 Funciones de transferencia y respuesta.

En la teoría de control, a menudo se usan las funciones de transferencia para caracterizar las relaciones de entrada-salida de componentes o de sistemas que se describen mediante ecuaciones diferenciales lineales invariantes en el tiempo.

Un instrumento se puede caracterizar formalmente mediante su función de transferencia, es decir, por su modelo matemático Entrada/Salida, donde la entrada es el valor real de la propiedad sensada y la salida es la lectura en el instrumento.

Toda ganancia deberá ser unitaria, pero por tanto la forma dinámica de la respuesta (si oscila, por ejemplo) entre cambios como el tiempo de respuesta pueden ser importantes para la aplicación que se esté diseñando.

Las funciones de transferencia de instrumentos de alta calidad suelen estar disponibles desde el fabricante. De no ser así, se deberá realizar mediante un análisis dinámico.

La función de transferencia de un sistema descrito mediante una ecuación diferencial lineal e invariante en el tiempo se define como el cociente entre la transformada de Laplace de la salida (función de respuesta) y la transformada de Laplace de la entrada (función de excitación) bajo la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero.

Considérese el sistema lineal e invariante en el tiempo descrito mediante la siguiente ecuación diferencial:

$$a_0 y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} y + a_n y = b_0 x^{(m)} + b_1 x^{(m-1)} + \dots + b_{m-1} x + b_m x$$

$$n \geq m \quad \text{Ecuación (31)}$$

Dónde y es la salida del sistema y x es la entrada. La función de transferencia de este sistema es el cociente de la transformada de Laplace de la salida y la transformada de Laplace de la entrada cuando todas las condiciones iniciales son cero, o

$$\text{función de transferencia} = G(s) = \frac{\ell[\text{salida}]}{\ell[\text{entrada}] \text{ condiciones iniciales cero}}$$

$$= \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + b_{n-1} s + a_n} \quad \text{Ecuación (32)}$$

A partir del concepto de función de transferencia, es posible representar la dinámica de un sistema mediante ecuaciones algebraicas en s . Si la potencia más alta de s en el denominador de la función de transferencia es igual a n , el sistema se denomina sistema de orden n -ésimo.

- La función de transferencia de un sistema es un modelo matemático porque es un método operacional para expresar la ecuación diferencial que relaciona la variable de salida con la variable de entrada.
- La función de transferencia es una propiedad de un sistema, independiente de la magnitud y naturaleza de la entrada o función de excitación.
- La función de transferencia incluye las unidades necesarias para relacionar la entrada con la salida; sin embargo, no proporciona información acerca de

la estructura física del sistema. (Las funciones de transferencia de muchos sistemas físicamente diferentes pueden ser idénticas.)

- Si se conoce la función de transferencia de un sistema, se estudia la salida o respuesta para varias formas de entrada, con la intención de comprender la naturaleza del sistema.
- Si se desconoce la función de transferencia de un sistema, puede establecerse experimentalmente introduciendo entradas conocidas y estudiando la salida del sistema. Una vez establecida una función de transferencia, proporciona una descripción completa de las características dinámicas del sistema, a diferencia de su descripción física.

Integral de convolución.

Para un sistema lineal e invariante en el tiempo, la función de transferencia $G(s)$ es:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \quad \text{Ecuación (33)}$$

Dónde $X(s)$ es la transformada de Laplace de la entrada e $Y(s)$ es la transformada de Laplace de la salida, y se supone que todas las condiciones iniciales involucradas son cero. De aquí se obtiene que la salida $Y(s)$ se escribe como el producto de $G(s)$ y $X(s)$, o bien:

$$Y(s) = G(s)X(s) \quad \text{Ecuación (33)}$$

Obsérvese que la multiplicación en el dominio complejo es equivalente a la convolución en el dominio del tiempo, por lo que la transformada inversa de Laplace de la Ecuación (33) se obtiene mediante la siguiente integral de convolución:

$$y(t) = \int_0^t x(\tau)x(t - \tau)d\tau = \int_0^t g(\tau)x(t - \tau)d\tau \quad \text{Ecuación (34)}$$

Dónde tanto $g(t)$ como $x(t)$ son 0 para $t < 0$.

Respuesta-impulso.

Considérese la salida (respuesta) de un sistema para una entrada impulso unitario cuando las condiciones iniciales son cero. Como la transformada de Laplace de la función impulso unitario es la unidad, la transformada de Laplace de la salida del sistema es:

$$y(s) = G(s) \quad \text{Ecuación (35)}$$

La transformada inversa de Laplace de la salida obtenida mediante la Ecuación (35) proporciona la respuesta-impulso del sistema. La transformada inversa de Laplace de $G(s)$, o bien:

$$\mathcal{L}^{-1}[G(s)] = g(t) \quad \text{Ecuación (36)}$$

Se denomina respuesta-impulso. Esta respuesta $g(t)$ también se denomina función de ponderación del sistema. De este modo, la respuesta-impulso $g(t)$ es la respuesta de un sistema lineal a una entrada impulso unitario cuando las condiciones iniciales son cero. La transformada de Laplace de esta función proporciona la función de transferencia. Por tanto, la función de transferencia y la respuesta-impulso de un sistema lineal e invariante en el tiempo contienen la misma información sobre la dinámica del sistema.

Función de transferencia en lazo abierto y función de transferencia de la trayectoria directa:

El cociente de la señal de realimentación $B(s)$ entre la señal de error $E(s)$ se denomina función de transferencia en lazo abierto. Es decir:

$$\text{Función de transferencia} = \frac{B(s)}{E(s)} = G(s)H(s) \quad \text{Ecuación (37)}$$

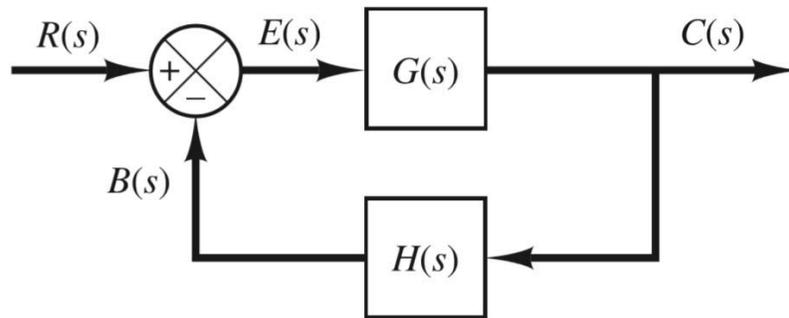


Fig. 10 Sistema lazo cerrado. . En Ingeniería de control moderna (p.19), por K. Ogata, 2010, Madrid. Pearson Educación.

El cociente entre la salida $C(s)$ y la señal de error $E(s)$ se denomina función de transferencia de la trayectoria directa, por lo que:

$$\text{Función de transferencia de la trayectoria directa} = \frac{C(s)}{E(s)} = G(s)$$

Ecuación (38)

Si la función de transferencia de la trayectoria de realimentación $H(s)$ es la unidad, la función de transferencia en lazo abierto y la función de transferencia de la trayectoria directa son iguales.

Función de transferencia en lazo cerrado.

De la figura 10 la salida $C(s)$ y la entrada $R(s)$ se relacionan del modo siguiente:

$$C(s) = G(s)E(s) \text{ Ecuación (39)}$$

$$E(s) = R(s) - B(s) = R(s) - H(s)C(s) \text{ Ecuación (40)}$$

Si se elimina $E(s)$ de estas ecuaciones, se obtiene:

$$C(s) = G(s)[R(s) - H(s)C(s)] \text{ Ecuación (40)}$$

o bien,

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \text{ Ecuación (41)}$$

La función de transferencia que relaciona $C(s)$ con $R(s)$ se denomina función de transferencia en lazo cerrado. Esta función de transferencia relaciona la dinámica del sistema en lazo cerrado con la dinámica de los elementos de las trayectorias directa y de realimentación. A partir de la Ecuación (41), $C(s)$ se obtiene mediante:

$$C(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} R(s) \text{ Ecuación (42)}$$

Por tanto, la salida del sistema en lazo cerrado depende claramente tanto de la función de transferencia en lazo cerrado como de la naturaleza de la entrada.

2. Capítulo II.- Microcontrolador.

2.1 Electricidad.

La electricidad se ocupa de las partículas cargadas positivamente (protones), que se repelen mutuamente, y de las partículas negativas (electrones), que también se repelen. Debido a la ley física de atracción entre sí de cargas eléctricas de signo opuesto (y de repulsión entre sí de cargas del mismo signo), cualquier electrón siempre es atraído por una carga positiva equivalente.

A la circulación de electrones desde un polo negativo a uno positivo, se le conoce como electricidad.

2.2 Corriente continua y alterna.

En electricidad existen dos tipos principales de corriente eléctrica: corriente continua y corriente alterna.

Corriente continua:

La corriente continua es aquella cuyos valores instantáneos a lo largo del tiempo son de la misma magnitud. Suele estar suministrado por pilas, baterías, dinamos, fuentes de alimentación de corriente continua etc...

Una de las características fundamentales de la corriente continua es que tiene polaridad:

Uno de los conductores es el positivo (de color rojo) y el otro el negativo (de color negro), también llamado masa. Esto implica que los receptores deben conectarse de acuerdo a esa polaridad, de lo contrario podríamos obtener consecuencias no deseadas, y en el mejor de los casos no funcionarían.

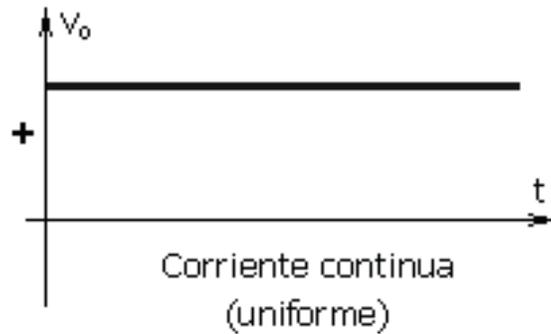


Fig. 11 Comportamiento corriente continua.

Características de la corriente directa:

- La corriente continua o directa tienen un flujo continuo que se mueve en una sola dirección y son constantes en el tiempo.
- Su aspecto es el de una línea recta que no varía.
- Se produce a partir de fuentes de energía, las baterías, fuentes de alimentación y generadores de corriente continua.
- Los dispositivos fotovoltaicos como las células solares también generan energía CC.

Corriente alterna.

Una corriente que cambie de sentido a intervalos de tiempo recibe el nombre de corriente alterna.

La corriente que tenemos en las bases de enchufe de casa se denomina corriente alterna senoidal.

La forma de la onda senoidal es periódica, ya que se reproduce idénticamente en intervalos de tiempo iguales.

Dentro de una corriente alterna senoidal se consideran los siguientes parámetros fundamentales:

- ✓ Frecuencia.
- ✓ Período
- ✓ Valor instantáneo.
- ✓ Valor máximo.
- ✓ Valor eficaz.
- ✓ Valor medio.

Características de la corriente alterna:

- Amplitud: Es el valor máximo positivo o negativo de la señal alterna este valor se da en pico a pico o rms.
- Periodo: Es el tiempo que se gasta para hacer un ciclo.
- Frecuencia: Es el número de ciclo por segundos su unidad es Hz.
- Ciclo: es el recorrido de la señal desde su punto de inicio hasta el inició de una nueva señal con las mismas características.
- Fase: es el punto de inicio de la señal de da en grados
- Diferencia de fase: es la diferencia que hay entre el inició de una señal y el inició de la otra.
- Longitud de onda: es la distancia entre el valor máximo + y el siguiente valor máximo + o -.
- La fuente de poder puede describirse como una fuente de tipo eléctrico que logra transmitir corriente por la generación de una diferencia de potencias.
- La fuente de poder tiene el propósito de transformar la tensión alterna de la red en una tensión casi continua.

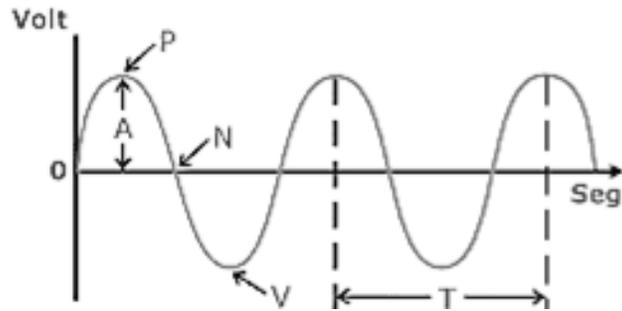


Fig. 12 Comportamiento de corriente alterna. En *Ciclo de corriente alterna* (p.66), Ternium 2013

2.3 Circuitos en serie y en paralelo.

Las resistencias en un circuito eléctrico pueden estar dispuestas en serie o en paralelo:

Cuando dos o más resistores se conectan juntos, se dice que están en serie. En una conexión en serie todas las cargas que se mueven a través de un resistor también deben pasar por el segundo resistor. De otra forma la carga se acumularía entre los resistores.

En consecuencia, para una combinación en serie de resistores, las corrientes en los dos resistores son iguales porque cualquier carga que fluye por R1 también debe fluir por R2.

Primero se aplica la ley de Kirchhoff:

$$V_s = v_1 + v_2 + \dots + v_N$$

Ecuación (9)

Y después la ley de ohm:

$$v_s = R_1i + R_2i + \dots + R_Ni = (R_1 + R_2 + \dots + R_N)i$$

Ecuación (10)

Así, el valor de la resistencia equivalente de N resistencias en serie está dado por:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_N$$

Ecuación (11)

Ventajas y desventajas de un circuito en serie:

- ✓ *Ventajas:* Un circuito en serie es un circuito donde solo existe un camino desde la fuente de tensión (corriente) o a través de todos los elementos del circuito, hasta regresar nuevamente a la fuente.
- ✓ *Desventajas:* En serie usas la mitad de cable, pero si un componente falla pues se abre el circuito y se detiene. Si conectas muchas lamparitas en serie y una de ellas se quema: se abre el circuito y se apagan todas.

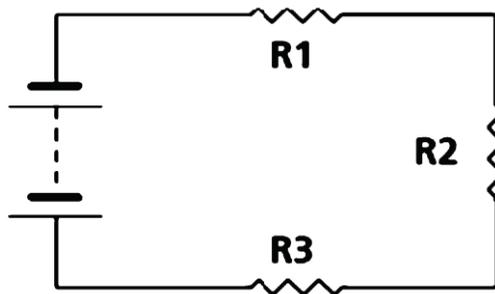


Fig. 13 Circuito en serie. En *Ciclo de corriente alterna* (p.61), Ternium 2013

Un circuito que contiene N resistencias en paralelo, como el de la figura, conduce por medio de la ecuación de la ley de Kirchhoff de corriente a lo siguiente:

$$i_s = i_1 + i_2 + \dots + i_N \quad \text{Ecuación (12)}$$

$$I_s = \frac{v}{R_1} + \frac{v}{R_2} + \dots + \frac{v}{R_N} = \frac{v}{R_{eq}} \quad \text{Ecuación (13)}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N} \quad \text{Ecuación (14)}$$

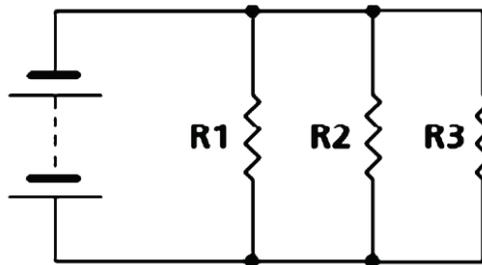


Fig. 14 Circuito en paralelo. En Ciclo de corriente alterna (p.62), Ternium 2013

Ventajas y desventajas del circuito en paralelo:

- ✓ Ventajas: la ventaja del circuito paralelo es que te mantiene el voltaje igual en todas las cargas, como en tu casa, todos los contactos donde conectas la tv, secadora, el horno de microondas, el celular, están en paralelo y todos tienen el mismo voltaje.
- ✓ Desventajas Cuando se añaden ramas a un circuito en paralelo, la tensión se iguala a través de todo el circuito, es decir, el flujo de corriente debe cambiar para compensar. Esto tiene un efecto en cadena en la resistencia del circuito en su conjunto y resulta en una menor resistencia del circuito de más resistencias se agregan nuevas sucursales. La única manera de aumentar la resistencia es añadir resistencias en serie entre ellos y las ramas existentes.

2.4 ¿Para qué sirve y cómo funciona un Microcontrolador?

Un microcontrolador es un circuito integrado digital que puede ser usado para diversos propósitos debido a que es programable. Es capaz de ejecutar de forma autónoma una serie de instrucciones. Está compuesto por una unidad central de proceso (CPU), memorias (ROM y RAM) y líneas de entrada y salida (periféricos).

Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna.

Como el hardware ya viene integrado en un solo chip, para usar un microcontrolador se debe especificar su funcionamiento mediante software a través de programas que indiquen las instrucciones que el microcontrolador debe realizar. El lenguaje de programación más típico que se usa para este fin es C, pero antes de grabar un programa al microcontrolador hay que compilarlo.

2.5 Arduino ¿Qué es y para qué funciona?

Arduino es una placa basada en un microcontrolador de código abierto (open source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar.

Normalmente un microcontrolador posee entradas y salidas digitales, entradas y salidas analógicas y entradas y salidas para protocolos de comunicación. Un Arduino es una placa que cuenta con todos los elementos necesarios para conectar periféricos a las entradas y salidas del microcontrolador.

Hardware

Es una placa hardware libre, una PBC (placa de circuito impreso), que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines unidos internamente a las patillas de entradas y salidas del microcontrolador, que permite conectar diferentes componentes eléctricos.

Software

Un software o un entorno de desarrollo libre y multiplataforma (Linux, MacOS y Windows) que se instala en el ordenador para escribir y cargar, un conjunto de instrucciones en la memoria del microcontrolador de la placa. Esta programación se realiza a través de un cable USB, ya que la mayoría de las placas Arduino incorporan un conector USB.

Es software libre, por lo que los usuarios tienen libertad de ejecución, copia y distribución, de realizar cambios y mejoras sin tener que pagar ni pedir permisos.

Lenguaje de programación

El lenguaje de programación es libre. Es decir, un idioma artificial diseñado para expresar instrucciones (siguiendo unas determinadas reglas sintácticas) que pueden ser llevadas a cabo por máquinas. Dentro del lenguaje Arduino (basado internamente en código C/C++), encontramos elementos parecidos a otros lenguajes de programación existentes (como los bloques condicionales, los bloques repetitivos, variables, etc.), así también como comandos llamados “órdenes” o “funciones” que nos permiten especificar las instrucciones exactas que queremos programar en el microcontrolador de la placa. Estos comandos los escribimos mediante el entorno de desarrollo Arduino.

Las funciones de Arduino, como ocurre con la mayoría de las placas de microcontroladores, se pueden resumir en 3 factores:

- ❖ Cuenta con una interfaz de entrada. Esta puede estar directamente unida a los periféricos, o conectarse a ellos.
- ❖ La interfaz de entrada tiene como objetivo trasladar la información al microcontrolador.
- ❖ Cuenta con interfaz de salida. Este se encarga de llevar la información procesada a los periféricos autorizados de hacer el uso final de estos datos.

2.6 ¿Por qué Arduino?

Existen muchas otras placas de diferentes fabricantes que, aunque incorporan diferentes modelos de microcontroladores, son comparables y ofrecen una funcionalidad más o menos similar a la de las placas Arduino. No obstante, la plataforma Arduino (hardware + software + lenguaje de programación) ofrece una serie de ventajas:

- Arduino es libre y extensible: esto quiere decir que cualquiera que desee ampliar y mejorar tanto el diseño y el hardware de las placas como el entorno del desarrollo software y el propio lenguaje de programación, puede hacerlo sin problemas.
- Su entorno de programación es multiplataforma: se puede instalar y ejecutar en sistemas Windows, Mac OS X y Linux. Esto no ocurre con software de muchas otras placas.
- Su entorno y el lenguaje de programación son simples y claros: son muy fáciles de aprender y de utilizar, a la vez que flexibles y completos para que los usuarios avanzados puedan aprovechar todas las posibilidades del hardware.

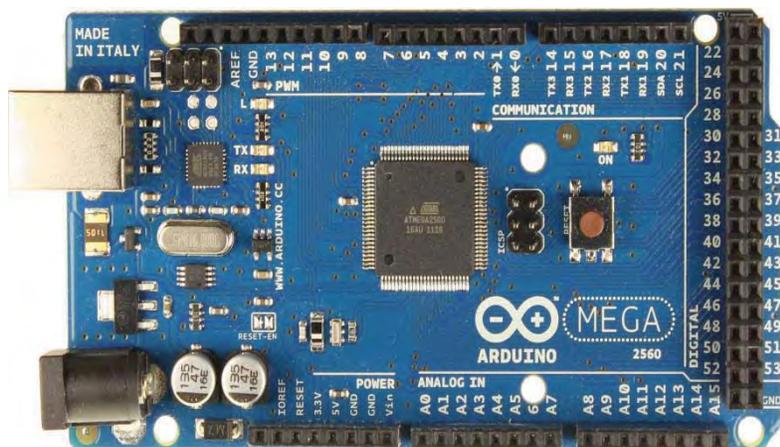


Fig. 15 Arduino Mega 2560. Recuperado de ARDUINO MEGA 2560 REV3, obtenida de: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>

2.7 Señal analógica.

Una señal analógica es aquella que presenta una variación continua con el tiempo, que a una variación suficientemente significativa del tiempo le corresponderá una variación igualmente significativa del valor de la señal. La mayoría de las señales que representan una magnitud física (temperatura, luminosidad, humedad, etc.) son señales analógicas.

En el caso de la corriente alterna, la señal analógica incrementa su valor con signo eléctrico positivo durante medio ciclo y disminuye a continuación con signo eléctrico negativo en el medio ciclo consiguiente.

Un sistema de control (microcontrolador) no tiene capacidad alguna para trabajar con señales analógicas, de modo que necesita convertirlas en señales digitales para poder trabajar con ellas.

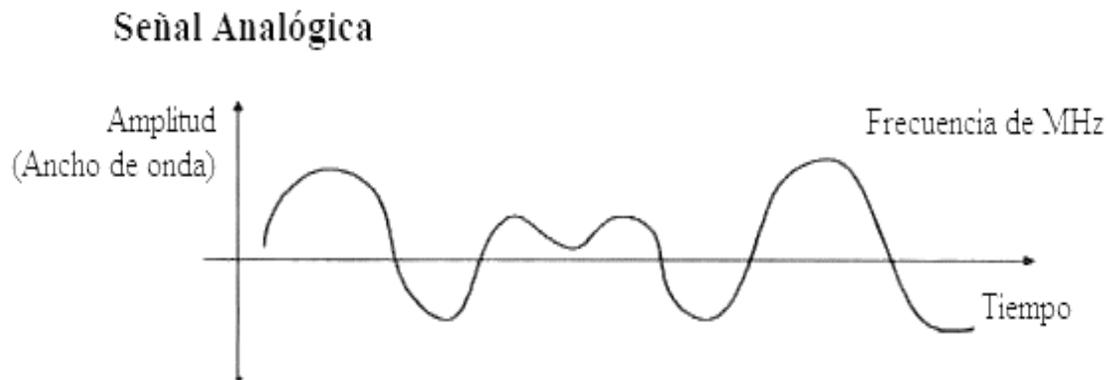


Fig. 16 Señal analógica. Recuperado de http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro27/133_tipos_de_seales_analgicadigital.html

2.8 Señal digital.

Una señal digital es aquella que presenta una variación discontinua con el tiempo y que solo puede tomar ciertos valores discretos. Su forma característica es conocida como una onda cuadrada (pulsos) y las representaciones se realizan en el dominio del tiempo.

Sus parámetros son:

- Altura de pulso (nivel eléctrico)
- Duración (ancho de pulso)
- Frecuencia (velocidad de pulsos por segundo)

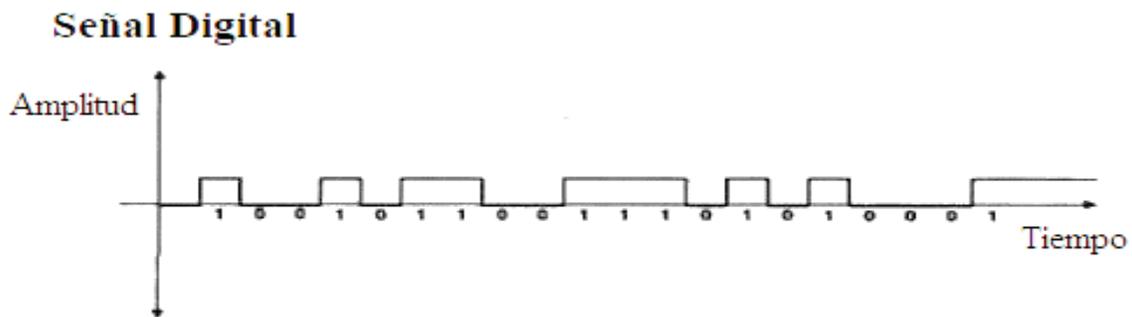


Fig. 17 Señal digital. Recuperado de http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro27/133_tipos_de_seales_analgicadigital.html

Frecuentemente es necesario cambiar un tipo de señal por otro, esto se hace mediante un transductor, por ejemplo, cuando se necesita cambiar de una señal eléctrica, mA, a una neumática, psig, se utiliza un transductor (I/P) que transforma la señal de corriente (I) en neumática (P); la señal de entrada puede ser de 4 a 20 mA y la de salida de 3 a 15 psig. Existen muchos otros tipos de transductores: neumático a corriente (P/I), voltaje a neumático (E/P), neumático a voltaje (P/E), etcétera.

2.9 Elección de tipo de Arduino a utilizar

La finalidad del proyecto es el desarrollo e instalación de un sistema de control, mediante el uso de la plataforma Arduino. Teniendo en cuenta que las necesidades del proyecto no requieren de una gran potencia, la principal opción es utilizar la placa Arduino UNO, pero esta no dispone pines I/O suficientes para recoger la información suministrada por los sensores.

Por este motivo se hace necesario adquirir una placa Arduino MEGA 2560 que posee 54 pines de entrada/ salida.

2.10 Diagrama de pines.

Dispone de 54 entradas/salidas digitales, 14 de las cuales se pueden utilizar como salidas PWM (modulación de anchura de pulso). Además, dispone de 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertas series), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP y un pulsador para el reset.

Para empezar a utilizar la placa sólo es necesario conectarla al ordenador a través de un cable USB o alimentarla con un adaptador de corriente AC/DC. También puede alimentarse mediante una batería.

Especificaciones:

1. Microcontrolador: ATmega2560
2. Voltaje de operación de 5V.
3. 54 pines I/O digitales.
4. 16 pines I/O analógicos.
5. Memoria Flash de 256KB.
6. Memoria Sram de 8KB.
7. Memoria EEprom de 4KB.
8. Velocidad de reloj de 16 MHz.
9. Programación mediante conexión USB.
10. Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA.
11. Corriente DC entregada en el pin 3.3V: 50 mA.

Contiene todo lo necesario para apoyar al microcontrolador, basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o un adaptador para empezar.

Memoria:

El ATmega2560 tiene una memoria flash de 256 kilobytes (de los cuales 8 KB están reservados para el cargador de arranque, Bootloader), una memoria SRAM de 8 KB y 4 KB de memoria EEPROM que se pueden leer y escribir utilizando la librería EEPROM.

Entradas y salidas:

Cada uno de los 54 pines digitales se puede utilizar como una entrada o salida, utilizando las funciones `pinMode ()`, `digitalWrite ()`, y `digitalRead ()`, todas ellas funcionan a 5 voltios.

Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia interna de pull-up (desconectada por defecto) de 20–50 KOhmios.

2.11 Display.

El LCD utilizado para mostrar el nivel de agua en el tanque en forma de, modificar el código personal y desactivar la alarma entre otras funciones, es el LCD J204A (fig. 15). Este LCD es alfanumérico de 4 líneas de 20 caracteres por cada línea con comunicación I2C y retroiluminación controlable por software. Los caracteres se muestran en color blanco sobre fondo azul.



Fig. 18 Display parte frontal. Recuperada de: Hetpro Herramientas tecnológicas profesionales. (2018), PANTALLA LCD 20X4 CON I2C JHD-204A, obtenida de: <https://hetpro-store.com/pantalla-lcd-20x4-i2c-jhd-204a/>

2.9 Programación.

La estructura básica del lenguaje de programación en Arduino es bastante simple y se compone al menos de 3 partes.

- Declaraciones de bibliotecas, variables y/o constantes,
- Void setup (), en donde setup () es el arte encargada de recoger la información. Es la primera función a ejecutar en el programa, se ejecuta una sola vez.
- Void loop (), es la que contiene el programa que se ejecutará cíclicamente (lectura de entradas, activación de salidas, etc.).

3. Capítulo III.- Diseño y montaje del sistema.

3.1 Descripción del equipo

El equipo consta básicamente de un tanque de almacenamiento, el cual será el encargado de suministrar el líquido a los dos tanques reservorios del sistema, controlando el nivel estableciendo un setpoint mediante un microcontrolador tipo Arduino Mega.

El sensor ultrasónico y de nivel son los que indicarán el nivel del líquido, y éstos a su vez estarán conectados por cables a un Arduino Mega, los cuales indicarán en que momento controlar las válvulas solenoides y las bombas.

El abastecimiento del líquido al TK-02 se realizará del tanque de almacenamiento TK-01 por medio de una electrobomba y una válvula solenoide que permitirá el paso del líquido al tanque.

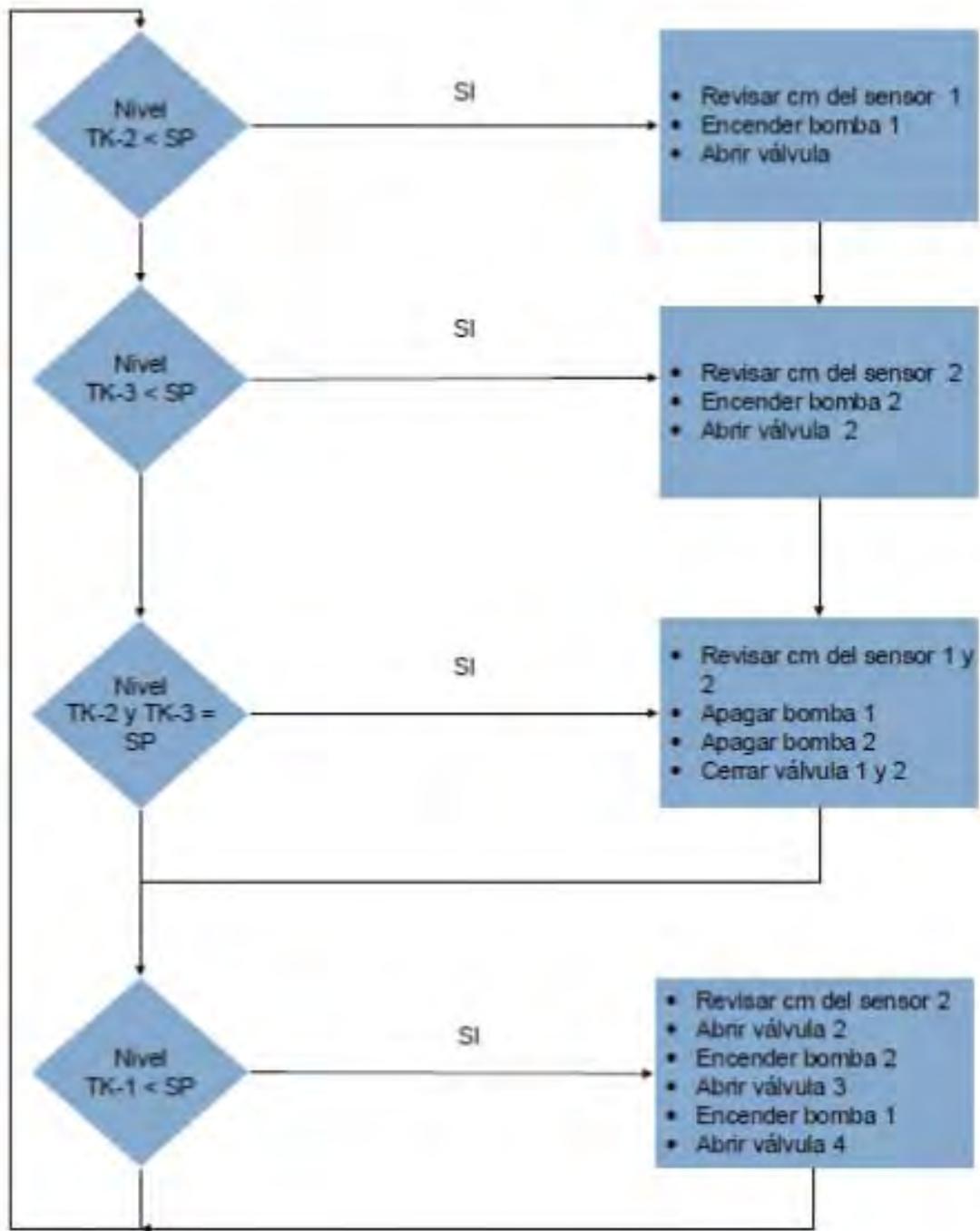
Una vez que el nivel llegue a un setpoint en el TK-02, se abrirá la válvula solenoide S_2 , y se encenderá la bomba BA-02 para que se empiece a llenar el TK-03 y ambos tanques lleguen a un equilibrio, es decir, a un mismo nivel.

Al finalizar para vaciar los tanques TK-02 y TK-03, el agua perteneciente al TK-02 se enviará al TK-03 y una vez estando todo el líquido en ese tanque se mandará de nuevo al tanque de alimentación TK-01.



*Fig. 19 Sistema de tanques no interactuantes.
Elaboración propia.*

3.2 Diagrama de flujo



3.3 Instrumentación.

La medición y el control de procesos son fundamentales para generar, los mejores resultados posibles, en los que se utilizan recursos como máquinas, recursos para una unidad productivo.

La instrumentación industrial es un grupo de dispositivos que sirven, justamente para medir, convertir y registrar variables de un proceso, y, luego transmitir las, evaluarlas y controlarlas con tales fines.

3.3.1 Sensor de nivel.

Este sensor se alimenta de 5v o a 3,3v en los pines VCC y GND. El pin S nos dará un valor analógico comprendido entre VCC y GND, de manera que usaremos el pin S conectándolo como entrada analógica en Arduino. El valor que leamos será mayor en función de la superficie del sensor este cubierto de agua. Esto se debe a que el agua se comporta como un conductor, teniendo en cuenta que el agua no será agua pura, ya que como tal el agua no es conductora.

Para poderlo usar como detector de nivel en un depósito tendremos que instalar el sensor en el interior de dicho depósito a la altura que queramos controlar el nivel de agua. El sensor se coloca de tal manera que las líneas paralelas de este sensor queden perpendiculares al nivel del agua del depósito. El pin S nos dará un valor mayor a medida que el sensor se sumerge.



Fig. 20 Sensor de nivel de agua. Recuperado de <https://www.prometec.net/sensor-agua/>

3.3.2 Sensor ultrasónico.

Los sensores ultrasónicos son detectores de proximidad. El sensor emite un sonido y mide el tiempo en que la señal tarda en regresar. El sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales eléctricas.

Generalmente están conformados por dos cilindros puestos uno al lado del otro, uno de ellos es quien emite la señal ultrasónica, mientras que el otro es quien la recibe, un sistema muy simple pero efectivo.



Fig. 21 Sensor ultrasónico HC-SR04. Recuperado de <https://robu.in/product/hc-sr04-ultrasonic-range-finder/>

Parámetros	Especificación
Voltaje de operación	+5V DC
Corriente de alimentación	15 mA
Frecuencia de operación	40 KHz
Distancia máxima	400 cm
Distancia mínima	2 cm
Ángulo eficaz	15°
Resolución	0.3 cm
Señal de entrada de Trig	>10us pulsos TTL
Señal de salida de Trig	Pulso TTL con ancho que representa la distancia
Dimensión	45 x 20 x 15 mm
Interfaz de cuatro hilos	vcc, trigger, echo, GND

Tabla 1 Especificaciones del sensor HC-SR04.

Al enviar un pulso “1” de al menos 10us por el pin Trigger, un pulso ultrasónico corto se transmite, el cual es reflejado por un objeto. El sensor recibe la señal y la convierte en una señal eléctrica.

El sensor envía 8 pulsos de 40 KHz y coloca su salida Echo a alto, se debe detectar e iniciar un conteo de tiempo. La salida Echo se mantendrá en alto hasta recibir el eco reflejado por el obstáculo a lo cual es sensor pondrá su pin Echo a bajo, es decir, terminar de contar el tiempo.

El siguiente pulso puede ser transmitido cuando el eco se ha desvanecido. A este periodo de tiempo se le conoce como periodo de ciclo, y este periodo no debe ser menor a 50 ms.

En la siguiente imagen podemos observar el funcionamiento del sensor.

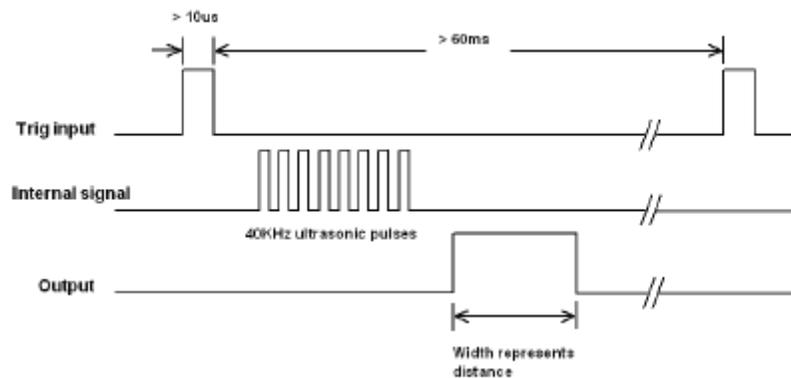


Fig. 22 Diagrama del sensor HC-SR04. Recuperado de <https://www.infootec.net/sensor-ultrasonidos-hc-sr04/>

El sensor ultrasónico se utiliza para recopilar los datos de nivel de agua, el cual envía la información al Arduino Mega256. Se utiliza para este fin la siguiente fórmula:

$$Vs = \frac{D}{t}$$

Ecuación (15)

Dónde:

D: es la distancia.

Vs: es la velocidad del sonido

T: es el tiempo

El tiempo como es de ida y vuelta se utiliza la siguiente fórmula:

$$t = \frac{t}{2}$$

Ecuación (16)

3.3.3 Características para elegir un sensor.

Magnitud a medir	Característica de salida	Característica de alimentación	Características externas
Margen de medida	Sensibilidad	Tensión	Temperatura
Resolución	Tensión	Corriente	Humedad
Exactitud	Corriente	Potencia	
Estabilidad	Frecuencia	Frecuencia	
Ancho de banda	Impedancia	Estabilidad	
Tiempo de respuesta	Señal analógica		
Magnitudes	Señal digital		

Tabla 2 Características para elegir un sensor.

3.3.4 Bomba

Las bombas utilizadas para este prototipo son electrobombas que se alimentan a 115v y tienen una potencia de ½ Hp, que es controlada por el microcontrolador, dependiendo del nivel deseado esta encenderá para el llenado y se apagará cuando el sensor indique que llegó al nivel establecido por el operario.



*Fig. 23 Electrobomba del prototipo.
Elaboración propia.*

Voltaje de alimentación	115 V
Frecuencia	60/50 Hz
Potencia	1.25 HP
Flujo	18.9 lpm
Presión interna máxima	25 psi (172 KPa)
Temperatura máxima des líquido	130 ° F (54 ° C)

Tabla 3 Propiedades de la bomba.

3.3.5 Válvulas solenoides.

La válvula solenoide es un dispositivo operado eléctricamente, y es utilizado para controlar el flujo de líquido o gases en posición completamente abierta o completamente cerrada. La válvula solenoide no regula el flujo, aunque puede estar siempre completamente abierta o completamente cerrada.

La válvula se cierra por gravedad, por presión o por la acción de un resorte; y es abierta por el movimiento de un émbolo operado por la acción magnética de una bobina energizada eléctricamente, o viceversa.



Fig. 24 Válvula solenoide.

Las válvulas solenoides se utilizan para llenar y drenar el agua de los tanques. Esta válvula es on/off y se energiza mediante una fuente externa, es decir, al energizarla el campo magnético alrededor de la bobina hace subir o bajar la compuerta que tiene internamente para así bloquear o permitir el paso del agua.

3.4 Estructura de control.

Una estructura de control es aquella que se va a formar dentro de nuestro proceso, es decir, son todas las variables existentes dentro de un determinado proceso.

En el sistema, determinaremos cuales son las variables manipulables y las variables controlables, las cuales son las siguientes.

Variable manipulable	Variable controlable	Variable medida
Flujo	Nivel	Nivel

Tabla 4 Variables del sistema. Elaboración propia.

3.5 Montaje del sistema

El montaje del sistema inicia con el diseño del prototipo, así como el isométrico, DFP, DTI, los cuales se encuentran dentro de los anexos.

Posteriormente se empieza con el diseño de las estructuras para soportar los tanques realizando:

- I. Barrenos:



Fig. 25 Barrenado de estructura. Desarrollo propio.

II. Remachar con ángulos para unir y formar la estructura:



Fig. 26 Remache con ángulos. Desarrollo propio.

III. Soldar para tener mayor soporte:



Fig. 27 Soldadura de estructura. Desarrollo propio.

IV. Estructura de tanques no interactuantes:



Fig. 28 Estructura de tanques. Desarrollo propio.

V. Fijar tanques:



Fig. 29 Tanques fijados a la base. Desarrollo propio.

VI. Montaje de bombas:



Fig. 30 Montaje de bomba con tubería. Desarrollo propio.

VII. Montaje de tubería:

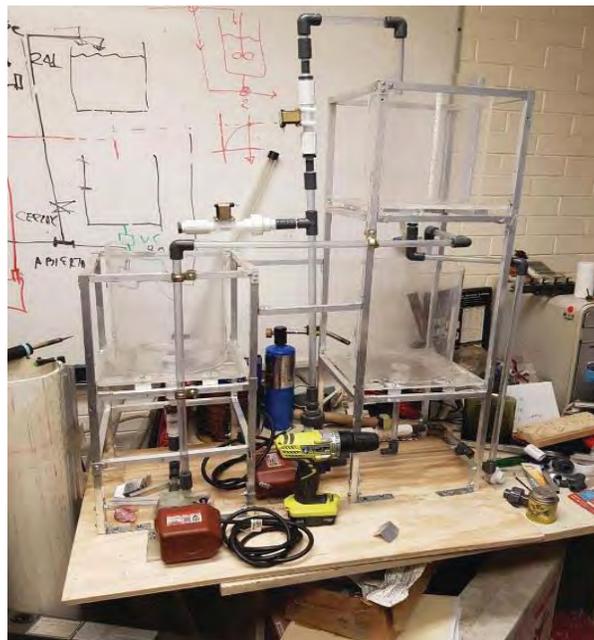
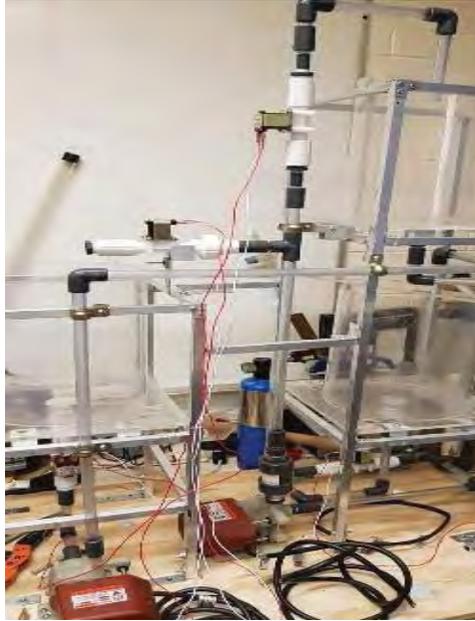


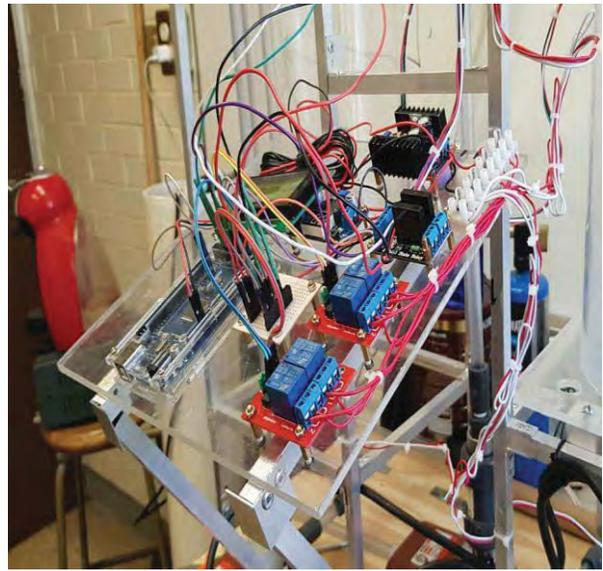
Fig. 31 Instalación de tubería. Desarrollo propio.

VIII. Instalación eléctrica de válvulas:



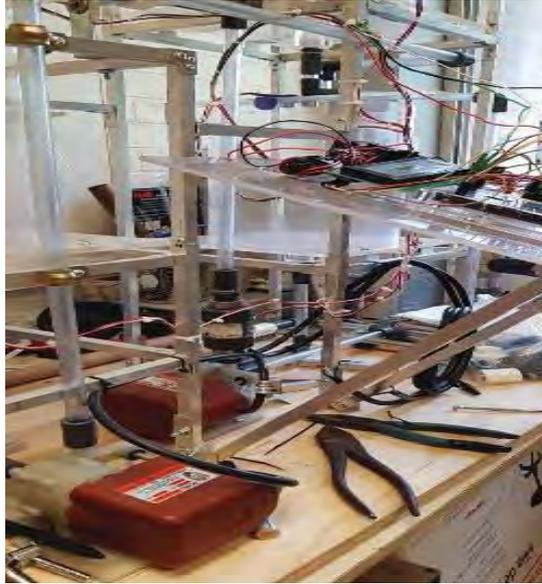
*Fig. 32 Cableado de válvulas.
Desarrollo propio.*

IX. Panel de control:



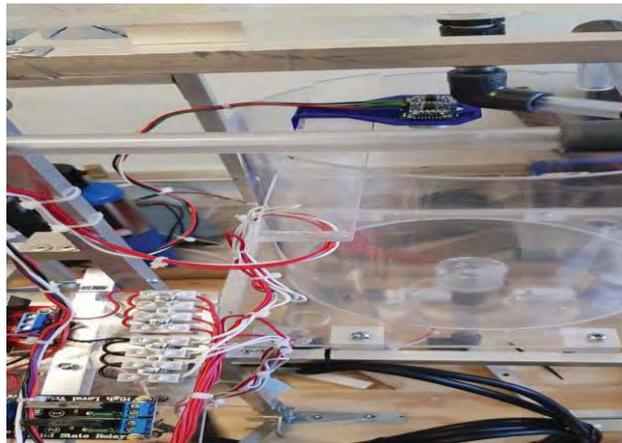
*Fig. 33 Panel de control del sistema.
Desarrollo propio.*

X. Conexión de bombas:



*Fig. 34 Conexión de bombas.
Desarrollo propio.*

XI. Conexión de sensores:



*Fig. 35 Conexión de sensores
ultrasónicos. Desarrollo propio.*

XII. Instalación del Teclado matricial:

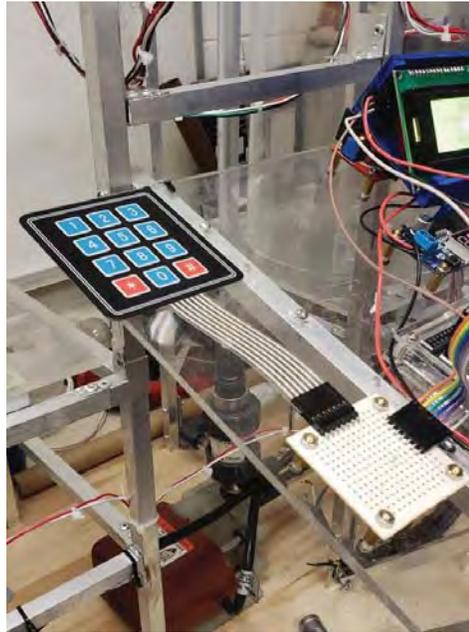


Fig. 36 Teclado matricial. Desarrollo propio.

XIII. Display:

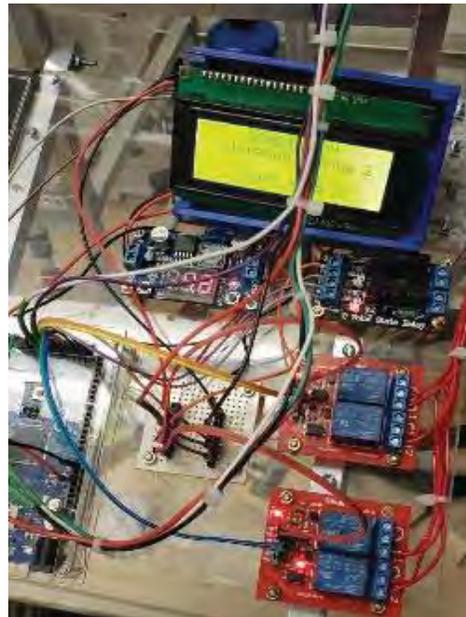


Fig. 37 Acomodo del Display. Desarrollo propio.

XIV. Prototipo finalizado:

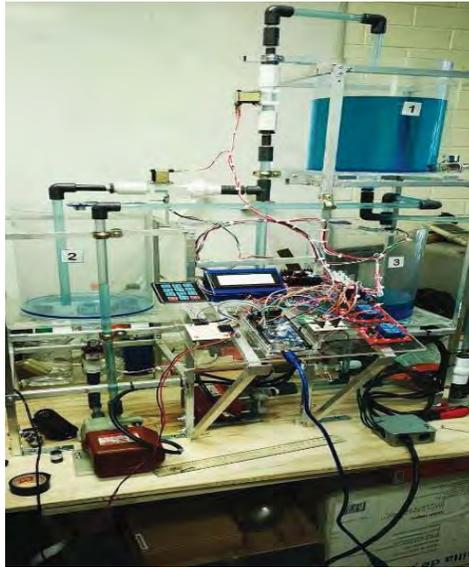


Fig. 38 Prototipo finalizado. Desarrollo propio.

XV. Programación en Arduino Genuino 1.8.3:

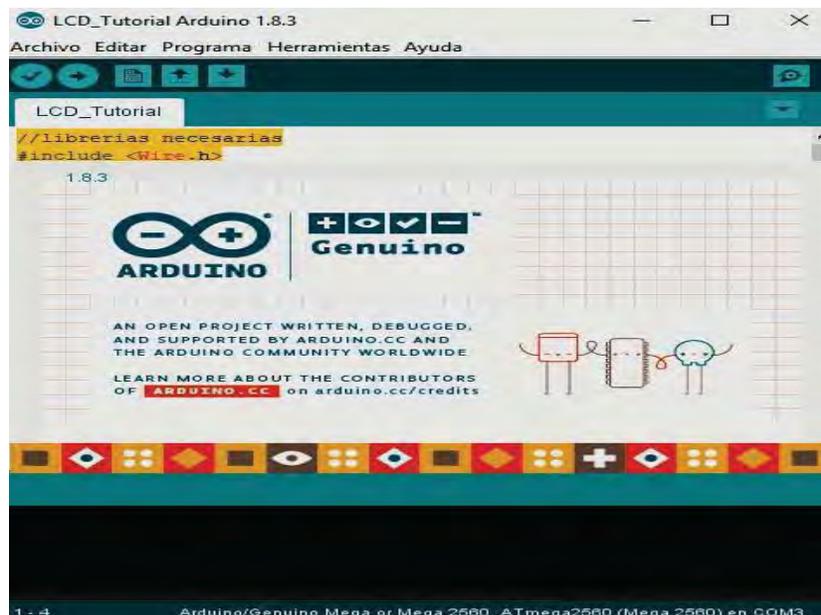


Fig. 39 Programación en Arduino. Desarrollo propio.

3.5.1 Lista de equipo electrónico

En la siguiente tabla se muestran tanto los accesorios y equipo, así como su costo.

Cantidad	Accesorio o equipo	Precio (MXN)	TOTAL
1	ARDUINO MEGA 2560	300	300
1	JUEGO DE 40 CABLES HEMBRA- MACHO	50	50
1	FUENTE CONMUTADA DE BAJADA0-36V 3ª	80	80
1	FUENTE DE SUBIDA BOOST 3A	120	120
1	DISPLAY LCD 20X4 BACK LIGHT AZUL + HEADER MACHO	130	130
1	CONVERTIDOR PARALELO A SERIAL I2C PARA LCD	50	50
1	HEADER HEMBRA 40 TERMN	12	12
2	SENSOR ULTRASÓNICO HC-SR04	30	60
1	TECLADO 3X4 MEMBRANA	30	30
1	SENSOR DE NIVEL DE AGUA	70	70
1	INTERRUPTOR NO Y NC ROJO	3.5	3.5
1	MÓDULO DE DOS RELEVADORES DE ESTADO SOLIDO OMRON G3MB-202P PARA 120V AC 2AMP, VOLTAJE DE ACTIVACIÓN 5VDC	120	120
1	CAJA DE ACRÍLICO PARA ARDUINO MEGA	70	70
3	PVC ESPUMADO	25	75
			1,170.5

Tabla 5 Lista de accesorios y equipos del prototipo.

3.5.2 Lista de accesorios, tubería y equipo.

En la siguiente tabla se muestran tanto los accesorios, tubería y equipo, así como su costo.

Cantidad	Accesorio o equipo	Medida	Precio (MXN)	TOTAL
14	Codo pvci cementar	90° * 1/4"	15	210
8	Cople adaptador roscar	½"	30	240
11	Niple cuerda corrida	¼" * C/C	19	209
2	Niple cuerda corrida	¼" * 2"	23	46
8	Reducción Bushing roscar	3/8" a ¼"	53	424
2	Tee cementar	¼"	41	82
8	Reducción Bushing roscar	1/2" a ¼"	53	424
8	Adaptador hembra c/seg	1/4"	45	360
3	Tubo cuadrado aluminio	½" * 6.1m c/u	140	420
1	Ángulo aluminio	1" * 3.2m	120	120
2	Bombas	1.25 HP	2,400	4,800
4	Válvulas solenoides	¼"	150	600
2	Tubería alta resistencia	¼" * 6m	45	90
1	Tuerca unión roscar	½"	125	125
1	Válvula de bola check P.V.C	½"	717	717
				8,867

Tabla 6 Lista de accesorios, tubería y equipo del prototipo.

El costo total de inversión del prototipo es de \$10,037.5 pesos. Los cuales fueron aportados en su mayoría por el asesor de esta tesis, el Ing. Eduardo Vázquez Zamora, y en menor proporción por los tesisistas: Diana Montserrat Rodríguez Alzati y Mauricio Pérez Álvarez.

COSTO TOTAL DE EQUIPO ELECTRÓNICO.	COSTO TOTAL DE ACCESORIOS Y TUBERÍA.	TOTAL
1170.5	8,867	10,037.5

Tabla 7 Costo total del prototipo. Desarrollo propio.

3.6 Código para el sistema de tanques.

A continuación, se muestra parte del código realizado para el control del sistema de tanques.

➤ Código para el Display:

```
#include <Key.h>
#include <Keypad.h>
#include <Wire.h>
#include <FastIO.h>
#include <I2CIO.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <LiquidCrystal_SR.h>
#include <LiquidCrystal_SR2W.h>
#include <LiquidCrystal_SR3W.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
```

- Definir el tipo de teclado

```
// Se define el tipo de teclado
```

```
const byte renglones = 4;
```

```
const byte columnas = 3;
```

```
char teclas[renglones][columnas] = {
```

```
{'1', '2', '3'},
```

```
{'4', '5', '6'},
```

```
{'7', '8', '9'},
```

```
{'*', '0', '#}'
```

```
};
```

```
const byte rowpines[renglones] = {8, 7, 6, 5};
```

```
const byte columpines[columnas] = {4, 3, 2};
```

```
Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(teclas), rowpines, columpines, renglones,  
columnas);
```

- Definimos pines para las válvulas:

```
// Se definen los pines para las valvulas
```

```
int valvula_uno = 52;
```

```
int valvula_dos = 50;
```

```
int valvula_tres = 48;
```

```
int valvula_cuatro = 46;
```

- Definimos pines para ambas bombas:

```
// Se definen los pines para las bombas 1 y 2
```

```
int bomba_uno = 44;
```

```
int bomba_dos = 42;
```

- Definimos los pines para los sensores:

```
// Se definen los pines para los sensores Ultrasónicos
```

```
int nivel1_trigger = 40;
```

```
int nivel1_echo = 38;
```

```
int nivel2_trigger = 32;
```

```
int nivel2_echo = 30;
```

```
bool sistema = false;
```

3.7 Protocolo de uso del sistema de tanques no interactuantes.

A continuación, mostraremos la función del equipo en donde se aplicaron conceptos como estructura de control diseñando y construyendo un sistema de tanques no interactuantes.

Cada parte de nuestro equipo se hizo de acuerdo a una necesidad, por ejemplo, los sensores ultrasónicos se usaron con el fin de medir el nivel. Aunque hay otros tipos de sensores que cumplían con tal objetivo como los sensores inductivos y los capacitivos, por su función, fácil programación y el costo fue más viable este tipo de sensor.

Para impulsar el agua usamos bombas magnéticas, para controlar el flujo se utilizaron válvulas solenoides que su particularidad es que funcionan automáticamente con programación. Todo está programado en lenguaje c++ en un microcontrolador tipo Arduino mega 2560.

Nuestro loop nos muestra 3 opciones fase 1, fase 2 y fase 3 que es el reinicio.

Antes de iniciar el equipo verifica que la válvula de PVC esté abierta.

Al presionar en el teclado la opción 1, arrancará la fase 1 donde se empezará a llenar el tanque 2 abriéndose automáticamente la válvula 1 y encendiendo bomba 1, al llegar al set point establecido en el programa que es un valor de referencia ya marcado, automáticamente apagará bomba 1 y cerrará válvula 1.

Al presionar la opción 2 iniciará la fase 2 donde automáticamente se activa la válvula dos y se enciende la bomba 2 para comenzar a llenar el tanque 3 a partir del tanque 2, al empezarse a vaciar el tanque 2 volverán a activarse bomba 1 y válvula 1, y al llegar a un amortiguamiento, es decir, que ambos niveles tanto del tanque 2 y tanque 3 estén a un mismo nivel, automáticamente se apagarán bomba 1 y 2, y se cerrarán válvula 1 y 2.

Al presionar opción 3 iniciará el reinicio te sugerirá que cierres la válvula de PVC para que pueda proceder a verificar que las válvulas estén cerradas y que las bombas estén apagadas.

Al verificar transfiera del tanque 2 toda el agua al tanque 3, activando bomba 2 y válvula 2. al vaciar el tanque 2 se desactivan tanto válvula 2 como bomba 2, se activarán bomba 1 y válvula 3 y 4 para proceder a transferir del tanque 3 al tanque 1 toda el agua y al quedar vacío el tanque 3 se desactivará todo.

Aquí es donde tenemos la opción de si se necesita repetir el proceso o bien se quiere vaciar el sistema abriendo la válvula que está ubicada en el tanque 1.

Si deciden repetir el proceso abran la válvula de PVC.

Nota: Con base en los datos que se proporcionan en la tabla siguiente, el alumno será capaz de modelar el sistema de tanques no interactuantes, así como sacar las funciones de transferencia y poder aplicar los conocimientos adquiridos en la materia de dinámica y control de procesos.

Tubería	Diámetro Interno = .84 cm	Diámetro externo = 1.4 cm
Cilindros	Diámetro = 25	Altura = 26 cm

Tabla 8 Dimensiones del prototipo. Desarrollo propio.

Resultados

Este prototipo ayudará al alumno a modelar el sistema de tanques no interactuantes, con base en la estructura de control y conceptos teóricos de la materia de Dinámica y Control de Procesos.

Análisis de resultados:

- El emplear un lenguaje de programación en Arduino hizo que tuviéramos que aprender a programar primeramente lenguaje C++ para poder desarrollar el código para nuestro sistema, ya que dentro de la carrera no existe ninguna materia de programación.
- Así mismo, servirá de apoyo para otras materias como son flujo de fluidos para determinar las potencias reales de las bombas, ingeniería eléctrica, y reforzar la instrumentación industrial.

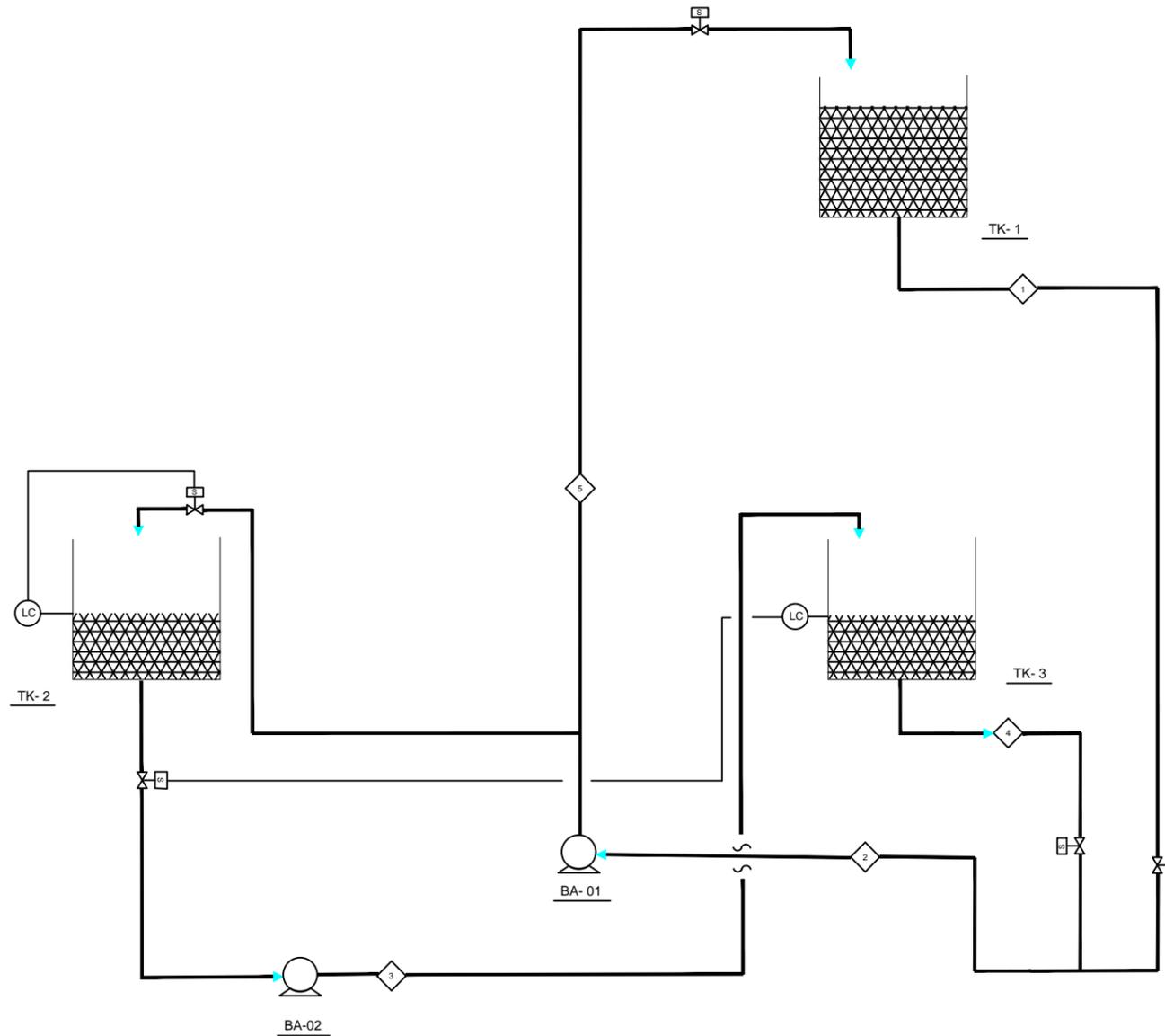
CONCLUSIONES

- Se desarrolló satisfactoriamente el prototipo para la materia de Dinámica y Control de Procesos de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza con la finalidad de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje, y así poder comprender mejor los conceptos que se fundamentan en la materia de manera práctica.
- Cuando realizamos un control o automatización se requiere de fiabilidad, que con este proyecto se puede mostrar que implementado un microcontrolador tipo Arduino se puede realizar un excelente control que cumpla con velocidad, facilidad, calidad.
- El código de programación realizado cumplió el objetivo de controlar el nivel de los tanques no interactuantes.

ANEXOS

LISTA DE EQUIPO

CLAVE	SERVICIO	CARACTERISTICAS
TK-1	TANQUE DE ALIMENTACIÓN	26 Cm. D. x 25 Cm. T-T
TK-2	TANQUE ACUMULADOR	26 Cm. D. x 25 Cm. T-T
TK-03	TANQUE ACUMULADOR	26 Cm. D. x Cm. T-T
BA-01	ELECTROBOMBA	Q= 4 GPM
BA-02	ELECTROBOMBA	Q= 4 GPM

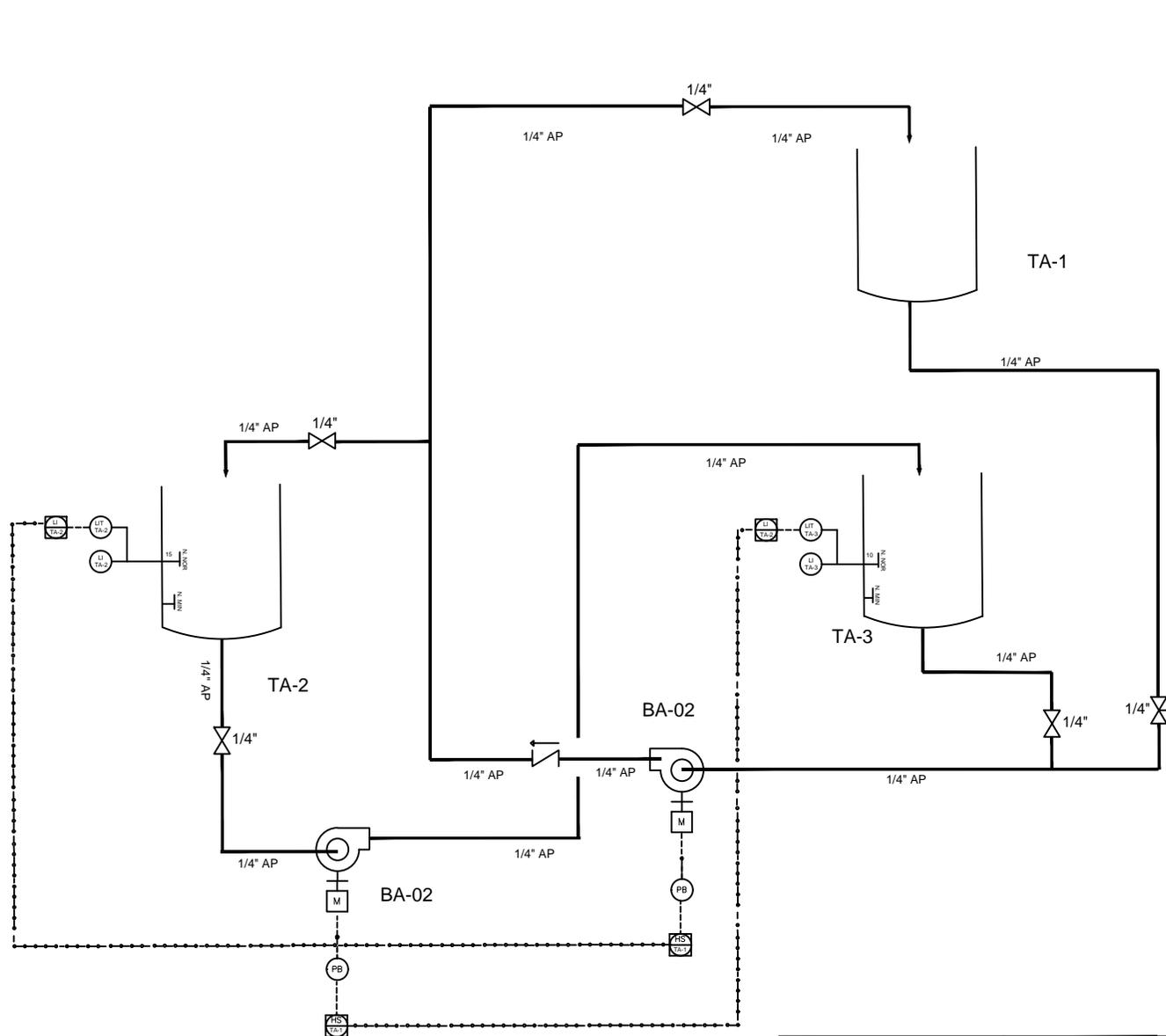


DIBUJÓ:	DIANA MONTSERRAT RODRÍGUEZ ALZATI MAURICIO PÉREZ ÁLVAREZ
REVISÓ:	ING. EDUARDO VÁZQUEZ ZAMORA

APROBADO POR	ING. EDUARDO VÁZQUEZ ZAMORA
FECHA	MARZO/2018
CIUDAD DE MÉXICO	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FES ZARAGOZA
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO ESTRUCTURA DE CONTROL
ESCALA: ACOT. EN:
REV. 1



TA-1
 TANQUE DE ALIMENTACIÓN
 D.I.= 26 cm. L.T.-T = 25 cm.

TA-2
 TANQUE DE ALIMENTACIÓN
 D.I.= 26 cm L.T.-T = 25 cm.

TA-3
 TANQUE DE ALIMENTACIÓN
 D.I.= 26 cm L.T.-T = 25 cm.

BA-01
 BOMBA DE AGUA
 Q = 4 GPM

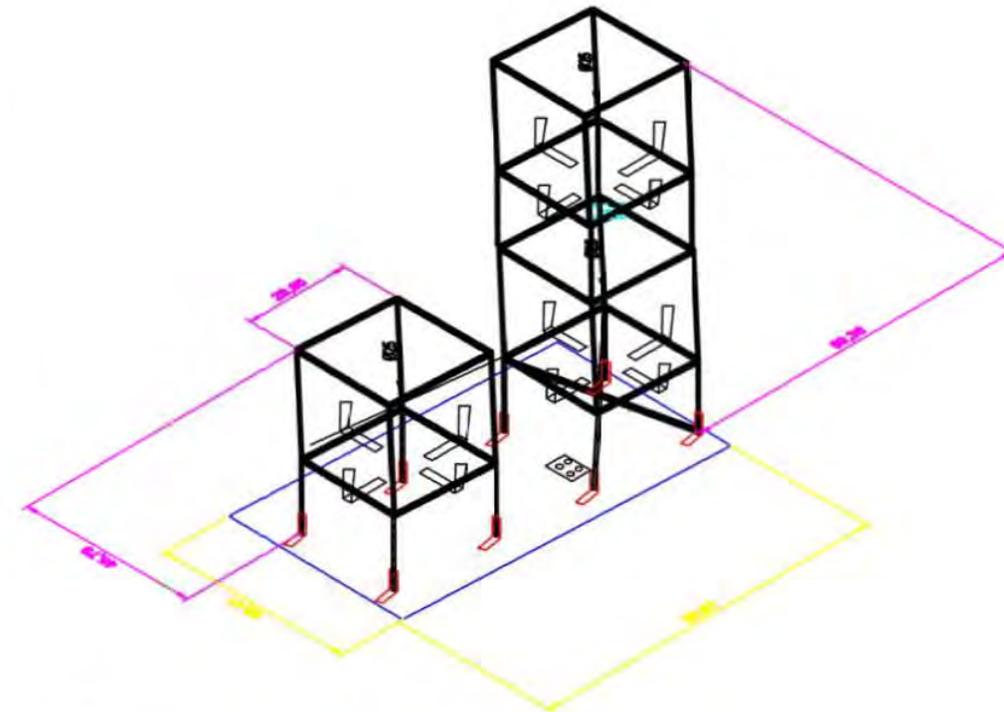
BA-02
 BOMBA DE AGUA
 Q = 4 GPM

DESCRIPCIÓN: APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN		APROBADO POR:	
		ING. EDUARDO VAZQUEZ ZAMORA	
		REALIZADO POR:	
		DIANA MONTSERRAT RODRIGUEZ ALZATI	
		MAURICIO PEREZ ALVAREZ	
REV.			



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
 DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION DE PROCESO
 ESTRUCTURA DE CONTROL

ESCL: 0%
 ACOT: 2 CM
 REV. 1



DIBUJO:

IQ. MAURICIO PÉREZ ÁLVAREZ

DIANA MONTSERRAT RODRÍGUEZ ALZATI

		medidas en cm			
rosa/tubo	89.36	4	357.44		
cuadrado	26.95	24	646.8		
	9.16	4	36.64		
	46.21	4	184.84		
	47.51	4	190.04		
		total	1415.8	cm	14.158 m
rojo	118.2	1	118.2		
tubería	25.75	1	25.75		
	31.57	1	31.57		
	9.48	2	18.96		
	35.82	1	35.82		
	43.4	1	43.4		
		total	273.7	cm	2.737 m

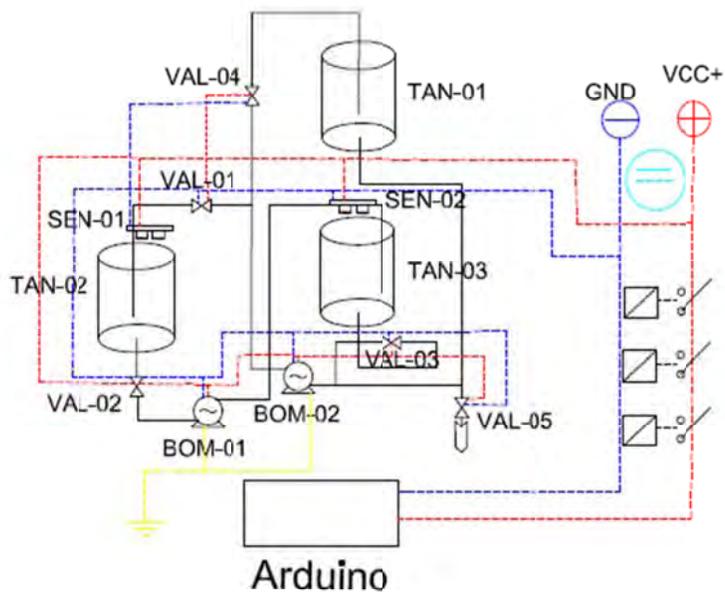
UNAM FES ZARAGOZA

ISOMÉTRICO: ESTRUCTURA DE CONTROL

ENV.

ACOT: CM

REV. 1



DIBUJÓ:

IQ. MAURICIO PÉREZ ÁLVAREZ

IQ.

DIANA MONTSERRAT RODRÍGUEZ ALZATI

UNAM

FES ZARAGOZA

Diagrama Unifilar

ENV.

ACOT: CM

REV. 1

BIBLIOGRAFÍA:

1. Kuo C. Benjamín, *Sistemas de control automático*, Prentice Hall Hispanoamericana S.A., México (1996).
2. Umez-Eronini Eronini, *Dinámica de sistemas y control*, International Thomson Editores, S.A. de C.V., México (2001).
2. Ogata Katsuchico, *Ingeniería de Control Moderna*, Prentice Hall Hispanoamericana S.A., México (1980).
3. Dorf C. Richard, *Sistemas modernos de control*, Adixson Wesley Iberoamericana. México (1989).
5. Carr J. Joseph, *Sensors and Circuits*, Prentice Hall International, New Jersey USA (1993).
6. Creus S. Antonio. *Instrumentación Industrial*, Marcombo, S.A Barcelona, España; Sexta edición. (1997).
7. Torrente Artero Oscar, *Arduino Curso básico de formación*, Alfaomega grupo editor S.A. de C.V., México; Primera edición. (2013).
8. Deitel M. Harvey, *Cómo programar en C++*, Pearson Educación, México; Sexta edición. (2008).
9. Hernández Gaviño Ricardo, *Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB*, Pearson Educación, México; Sexta edición. (2010).
10. Soisson E. Harold, *Instrumentación industrial*, Limusa Noriega Editores, México; Tercera edición, México.

11. George Stephanopoulos, Chemical Process Control An Introduction to Theory and Practice, Prentice Hall International, New Jersey USA, Primera edición (1984).
12. Valencia Gallón Hernán, Fundamentos de electrónica industrial, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Universidad Pontificia Bolivariana, (2013).
13. Perry H. Robbert, Manual del Ingeniero Químico Tomo VI, Editorial MC Graw Hill, México Tercera Edición en español, (2001).

PÁGINAS SOLICITADAS

1. Laura Garcia, (21/02/2018 14:00 hr) Arduino básico para docentes <https://sites.google.com/site/arduinobasicoparadocentes/entorno-arduino/estructuras-de-control>
2. Valle, H. Luis (21/06/2017 14:00 hr). Sensor de nivel de agua con Arduino. México: programarfacil.com. (<https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sensor-de-nivel-de-agua-con-arduino/>).