



**Tesis Monográfico para optar al Título de
Ingeniero Eléctrico y Electrónico.**

Título

“Sistema de automatización para el llenado de un tanque de agua por bombas con la ayuda de sensores”.

Autores:

- Br. Harriet Sharon Mejia Narvaez 2003-18118
- Br. Carlos José Espinoza Martínez 2007-22402

Tutor:

Ing. Juan González Mena

Managua, Noviembre 2016

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. Introducción	3
II. Antecedente	5
III. Problemática	6
IV. Justificación	7
V. Objetivos	8
5.1 Objetivo General	8
5.2 Objetivo Especifico	8
VI. Marco Teórico	9
6.1 Teoría General de control automático.....	9
6.2 Elementos de los sistemas de control.....	9
6.2.1 Variables aleatorias	10
6.2.2 Variables manipuladas	10
6.2.3 Controlador	10
6.2.4 Valores de referencia	11
6.2.5 Controles de lazo abierto y de lazo cerrado.....	12
6.3 Proceso de llenado de recipiente.....	13
6.4 Sensores	13
6.5 Especificación de un sensor	14
6.6 Temporizadores y contadores.....	16
6.7 Subsistema motor-bomba.....	16
VII. Metodología de Trabajo.....	19
VIII. Descripción del software CADE SIMU	21
IX. Componentes del sistema eléctrico	26
X. Sistema de bombeo de tanque a tanque	35
10.1 Consideraciones generales para el cálculo	36
10.2 Dimensionamiento de las bombas y motores.....	38
XI. Sistema de automatización propuesto	39
11.1 Funcionamiento de la pila aérea Llenado automático.....	40
XII. Conclusiones.....	44
XIII. Bibliografía	45

I. Introducción

La automatización de un sistema donde se transfieren tareas de producción, que normalmente son realizadas por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos y que son utilizadas con el fin de aumentar la productividad, suprimir trabajos forzosos e incrementa la seguridad.

En los sistemas de control automático, es de vital importancia que los dispositivos que actúan como elementos integradores del mismo, ofrezcan un nivel de seguridad que permita garantizar el desarrollo completo del proceso en ejecución en industrias tales como las manufactureras, comerciales, entre otras.

Esta es la razón por la cual se debe utilizar sistemas de control para el llenado y verificar la medida de nivel de líquidos en los sistemas.

Por lo tanto en el siguiente estudio se encuentra enfocado en el diseño (Diagrama de fuerza y diagrama de mando) de un sistema de automatización para el llenado de un tanque de agua de una planta de producción la cual suministra la misma por gravedad.

El sistema en sí pretende controlar el nivel del tanque por sensores capacitivos instalados en el tanque aéreo, los cuales serán ubicados en tres niveles diferentes para activar o desactivar los motores en el momento oportuno. Estos tres motores serán controlados por un sensor cada uno, los cuales bombean agua del rio hasta el tanque.

El proceso se desarrollara de la siguiente manera, existen tres niveles, bajo, medio y alto, donde estarán ubicados los sensores, cuando el nivel es bajo los tres motores serán activados, a medida que el nivel de agua sube, el sensor detecta el agua abre su contacto y desactiva el primer motor, al llegar al nivel medio, se abre el contacto del segundo sensor y se desactiva el segundo motor, hasta llegar al nivel máximo donde el ultimo sensor abre su contacto y desactiva el ultimo motor.

Cuando sucede lo inverso, el nivel del agua baja del nivel del primer sensor activa el primer motor, si la demanda es mayor que la velocidad del llenado y el nivel del agua disminuye y llega al nivel medio se activara el segundo motor, y si disminuye al nivel bajo se activara el tercer motor.

Este sistema busca controlar el llenado de acuerdo a la demanda de agua que hay en la producción, es decir si nosotros tuviéramos solo un motor, la velocidad de llenado puede que no sea suficiente con respecto a la demanda, y que provoque en algún momento el vacío total causando paro en la producción.

En este marco, el estudio busca presentar, en forma simplificada, los requerimientos que deben tenerse en cuenta durante el diseño de un sistema de control de nivel.

El protocolo está dividido en una pequeña introducción que hace una breve síntesis del trabajo de tesis, lo que se pretende lograr, a continuación los antecedentes relacionados a los proyectos desarrollados en la industria. Así como el planteamiento del problema del porque la necesidad de desarrollarlos y los objetivos del estudio.

Para finalizar la justificación del mismo y su impacto positivo en docentes, estudiantes de pregrado, así como en la sociedad, se presenta el marco teórico haciendo referencia a la teoría general de control automático, proceso de llenado de recipientes, sensores etc...

Posteriormente se presenta la metodología, cronograma de trabajo y el tiempo a seguir para el desarrollo del trabajo de tesis sobre el llenado de recipientes automatizados.

II. Antecedente

Actualmente el sistema de llenado del tanque de agua de la planta de producción se realiza a través de un solo motor (Bomba), apoyada por un operador, y muchas veces la velocidad de llenado puede que no sea suficiente con respecto a la demanda

Este sistema implementa un arranque directo del mismo, el motor solamente funciona mientras está accionado SB1 y una lámpara HL2, indica su puesta en marcha.

En sistema de fuerza implementa interruptores magnetotérmico, relé térmico, contactor y en el sistema de mando implementa pulsadores (Marcha, paro), lámparas indicadoras, contactos auxiliares etc.

Este sistema suministra la misma agua por gravedad a los depósitos mediante tubería a las líneas de producción en función de la demanda produciendo un acoplamiento entre las entradas y salidas del sistema.

Por tanto este sistema de control de nivel de líquido también abarca temas como el manejo de potencias para el accionamiento de una bomba electro sumergible.

Este sistema de control está completamente controlado por el operador, el operador del sistema debe de estar pendiente del nivel de agua deseado en el tanque almacenador y este llenará dicho tanque distribuidor haciéndolo un circuito abierto de control.

También se han realizado algunas mejoras en los sistemas de seguridad y protección de los sistemas a través de la instalación de un sensor de nivel con salida lumínica pero que aún es insuficiente para el sistema.

III. Problemática

El sistema solo depende de un Bomba, la velocidad de llenado puede que no sea suficiente con respecto a la demanda, y que provoque en algún momento el vacío total causando paro en la producción

Los resultados hasta el momento de dicho sistema tanto a nivel experimental como en simulación son comparados, comprobándose que ambos presentan una respuesta muy similar y que no se ajustan a las especificaciones deseadas.

Por tanto resulta necesario aplicaciones como la conversión análoga- digital que pudiera darte un sensor de nivel que active y desactiva las bombas.

Los actuales sistemas a veces sobrepasan el nivel de agua deseado en el tanque almacenador y derrama el agua, esto por no poseer un medio de sensado que desactive la bomba.

También se dificulta tener un control sobre los diferentes niveles en el tanque que sería prudente. (Bajo, medio y alto).

IV. Justificación

Es necesario controlar nivel de producto en un recipiente o una tolva, detectando simplemente un nivel máximo y un mínimo, para actuar sobre el sistema de llenado y/o vaciado.

Para esta aplicación pueden utilizarse sensores de proximidad capacitivos como detectores de nivel, conectados a una lógica simple para el comando del sistema de llenado.

El recipiente puede contener fluidos, polvos o materiales granulados tales como PVC, colorantes, harina, azúcar, leche en polvo, por nombrar algunos que podrían ser perjudiciales.

Los sensores de proximidad capacitivos detectan la presencia de todo tipo de material metálico o no. Disponen de un ajuste de sensibilidad multivoltas en su parte posterior mediante el cual se ajusta el punto de actuación de acuerdo al material a detectar.

Los sistemas debe contar con un diseño y cumplir tanto con los requerimientos mínimos del funcionamiento tanto a nivel del diagrama de fuerza como a nivel del diagrama de mando, así también cumplir con requerimientos de seguridad y protección.

Con este estudio se beneficia tanto los docentes como los estudiantes de pregrado, ya que podría ser una guía de estudio a mejorar, en pro del desarrollo de nuevas tesis en temas relacionados al control.

La metodología que se utilizará generará recomendaciones que pueden retomarse en la implementación de otros sistemas de control de llenado de diferentes líquidos.

V. Objetivos

5.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de automatización para el llenado de un tanque de agua por bombas con la ayuda de sensores de nivel.

5.2 Objetivo Especifico

Mejorar los tiempos de llenado del sistema actual.

Estudiar la teoría general de control automático y sus aplicaciones en los sistemas de llenado de un recipiente.

Describir el sistema de control de nivel del tanque con el sensor capacitivo.

Elaborar los diagramas eléctricos tanto de fuerza como de mando del sistema.

Simular la dinámica del sistema de llenado del tanque utilizando el software CADE-SIMU.

VI. Marco Teórico

6.1 Teoría General de control automático

Los controles automáticos tienen una intervención cada vez más importante en la vida cotidiana para la ingeniería y la ciencia, estos sistemas dinámicos aportan una base en la solución de problemas industriales, sistemas de pilotaje de aviones y hasta un simple tostador.

Controlar consiste en seleccionar, de un conjunto específico o arbitrario de elementos (o parámetros, configuraciones, funciones, etc.), aquellos que aplicados a un sistema fijo, hagan que este se comporte de una manera predeterminada.

6.2 Elementos de los sistemas de control

El objeto de un sistema de control automático es mantener bajo control (de allí que se denominan variables controladas) una o más salidas del proceso. Se utiliza la palabra proceso en un sentido muy general, entendiéndose que el mismo es el conjunto de fenómenos físicos que determinan la producción de las variables controladas.

Desde el punto de vista matemático, el proceso quedará representado por un conjunto de relaciones fundamentales, a través de las cuales las variables controladas quedan puestas en función de dos tipos de variables independientes:

- 1. Variables aleatorias
- 2. Variables manipuladas

6.2.1 Variables aleatorias

Las variables aleatorias son aquellas variables que escapan a cualquier control o posibilidad de manipulación, es decir, que adoptan valores que pueden variar al azar dentro de ciertos límites prácticos, constituyen perturbaciones, pues una vez obtenidos los valores deseados en las variables controladas, se tiende a apartarlas de los mismos.

6.2.2 Variables manipuladas

Si al proceso ingresaran solamente las variables aleatorias, no se dispondría ningún grado de control sobre el mismo y el valor de las variables controladas sería, también, aleatorio.

Para poder introducir cualquier grado de control, se deberá disponer de variables sobre cuyos valores sea posible operar; de allí que se denominen variables manipuladas. Son precisamente estas variables las que permiten gobernar el sistema, y su característica esencial es que pueden ser manejadas a voluntad dentro de ciertos límites.

El problema de controlar el proceso consiste en eliminar los efectos de las perturbaciones producidas por la variación de las variables aleatorias, mediante la introducción de variaciones compensatorias en las variables manipuladas.

6.2.3 Controlador

La parte del sistema que sintetiza las variables manipuladas es el controlador, contiene el programa necesario para introducir las variaciones en las variables manipuladas, a fin de obtener el comportamiento deseado de las variables controladas. Para ello el controlador puede disponer de distintos tipos de información:

- Referencia
 - Precompensación
 - Realimentación
-

6.2.4 Valores de referencia

Estos valores, que pueden ser constantes o variables en el tiempo, representan el comportamiento deseado en las variables controladas, por eso se les suele denominar también valores deseados o valores de comando.

Si el sistema tuviera un grado de control perfecto, idealmente los valores de las variables controladas deberían ajustarse en todo momento a los valores de referencia.

En el caso del control manual, las funciones asignadas al controlador en un sistema automático los valores de referencia están presentes en las intenciones del operador, y constituyen su idea acerca de los resultados deseables del proceso.

Ante la presencia de una perturbación (modificación de una variable aleatoria) el controlador debe iniciar una acción correctiva trabajando con las variables manipuladas, a fin de eliminar el efecto de la perturbación sobre las variables controladas.

Para cumplir esa función, se dispone de dos técnicas completamente distintas en su enfoque, aunque compatibles entre sí, diferenciándose en la información relativa a las variables aleatorias y a las variables controladas.

- Precompensación
- Realimentación

El estudio de los controles automáticos es impórtate debido a que proporciona una comprensión básica de todos los sistemas dinámicos, así como apreciación y utilización de las leyes fundamentales de la naturaleza.

Debemos tener en cuenta que existen 2 tipos de sistemas de control en diferentes lazos de tipo abierto y cerrado.

6.2.5 Controles de lazo abierto y de lazo cerrado

Las dos técnicas básicas de control, es decir, el ingreso al controlador de las variables aleatorias y de las variables controladas, dan lugar, respectivamente, a los sistemas de lazo abierto y de lazo cerrado.

La distinción entre ambos tipos de sistemas se basa en la existencia o ausencia de un camino de realimentación mediante el cual las variables controladas ingresen al controlador; si existe este camino, el sistema será de lazo cerrado; en caso contrario; será de lazo abierto. (Figura 1)

Los sistemas de control de lazo abierto especifica que la salida no tiene un efecto de control, es decir que la variable de salida no se mide ni se realimenta para compararla con la de entrada. Para cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo esta corresponde a un sistema de control de lazo abierto.



Figura 1 Diagrama de sistemas de lazo abierto.

La exactitud dependerá de la calibración del sistema, la calibración significa que deberá establecer cierta relación entre las variables de entrada y salida con la finalidad de obtener datos con cierta precisión.

El costo de este tipo de sistemas es económico aunque tiene como desventajas la sensibilidad a las perturbaciones, de modo contrario este funcionara correctamente. Debido a la simplicidad y economía hace que los sistemas de lazo abierto sean confiables mismas que cumplen una función útil.

En los sistemas de lazo cerrado las señales controladas deberán ser retroalimentadas para así compararlas con los valores de la entrada, misma que envía una señal actuante para disminuir los errores y corregir la salida final. (Figura 2)



Figura 2 Diagrama de sistemas de lazo cerrado

6.3 Proceso de llenado de recipiente

En su función más literal, el proceso de llenado consiste en la función de transportar el agua al recipiente, la exactitud dependerá de una tecnología de llenado para determinar el nivel correcto del líquido.

6.4 Sensores

Se llama sensor al instrumento que produce una señal, usualmente eléctrica (anteriormente se utilizaban señales hidráulicas), que refleja el valor de una propiedad, mediante alguna correlación definida (su ganancia).

En términos estrictos, un sensor es un instrumento que no altera la propiedad censada. Por ejemplo, un sensor de temperatura sería un instrumento tal que no agrega ni cede calor a la masa censada, es decir, en concreto, sería un instrumento de masa cero o que no contacta la masa a la que se debe medir la temperatura (un termómetro de radiación infrarroja).

Existe, además, el concepto estricto de **transductor**: un instrumento que convierte una forma de energía en otra (o una propiedad en otra).

Por ejemplo, un generador eléctrico en una caída de agua es un conocido transductor de energía cinética de un fluido en energía eléctrica; sobre esta base se podría pensar, por ejemplo, en un transductor de flujo a señal eléctrica consistente de un pequeño generador a paletas movilizadas por el caudal a medir.

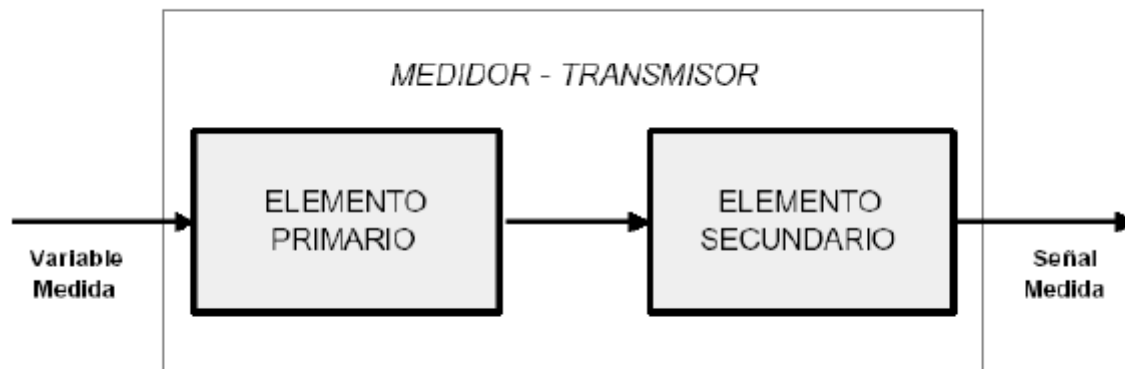


Figura 3. Esquema de transmisor

6.5 Especificación de un sensor

Todos los instrumentos deben ser especificados a un punto tal que aseguren la operación del proceso y que permita la estimación de sus costos. Estas especificaciones se pueden sistematizar, aplicándolas tanto a sistemas sensores como a sistemas actuadores, sin que todas y cada una de las definiciones que siguen a continuación sean aplicables a todo sensor o actuador.

- Precisión (o exactitud)
 - Error
 - Error de No-Linealidad
 - Repetitividad
 - Reproducibilidad.
-

-
- Sensibilidad
 - Resolución
 - Rango
 - Rango de Trabajo u Operación
 - Banda Muerta
 - Corrimiento del Cero
 - Tiempo de Respuesta
 - Histéresis
 - Función de Transferencia

Existe una gran cantidad de sensores en el mercado, para poder medir magnitudes físicas, de los que se pueden enumerar los siguientes:

- Temperatura
 - Humedad
 - Presión
 - Posición
 - Movimiento
 - Caudal
 - Luz
 - Imagen
 - Corriente
 - Conductividad
 - Resistividad
 - Biométricos
 - Acústicos
 - Aceleración
 - Velocidad
 - Inclinación
 - Químicos
-

6.6 Temporizadores y contadores

➤ Temporizadores (T)

En el mando se dispone de una serie de temporizadores que nos van a permitir realizar una serie de acciones:

- Realizar tiempos de espera.
- Supervisar acciones durante un tiempo determinado (tiempo de vigilancia).
- Generar impulsos.
- Medir tiempos de proceso.

➤ Contadores (Z)

Al igual que los temporizadores vamos a disponer de una serie de contadores que nos permitirán efectuar contajes, tanto hacia adelante como hacia atrás.

6.7 Subsistema motor-bomba

Para el subsistema motor – bomba lo detallaremos en dos partes:

- Motores
- Bombas

➤ Motores

Los motores son los encargados de transformar la energía eléctrica suministrada por el sistema generador en energía mecánica. Los motores que se precisan en aplicaciones de bombeo fotovoltaico deben ser de pequeña potencia y deben tener rendimientos elevados.

Este tipo de motores no son habituales por lo que pueden ser más costosos. Dependiendo del tipo de alimentación eléctrica los motores podemos distinguir entre motores de corriente continua y motores de corriente alterna.

Dentro de los motores de los motores de corriente continua podemos distinguir entre motores de imanes permanentes con escobillas y sin escobillas, motores serie, motor Shunt o motores compound. Dentro de los motores de corriente alterna podemos distinguir entre motores monofásicos y motores trifásicos en función del tipo de corriente para el que estén diseñados y, por otro lado, también pueden ser motores síncronos o motores asíncronos.

➤ **Bombas**

Una bomba es la máquina que transforma la energía mecánica en energía hidráulica. Se puede distinguir dos tipos principales de bombas: bombas de desplazamiento positivo o volumétrico y bombas dinámicas o de intercambio de cantidad de movimiento.

Las bombas de desplazamiento positivo poseen una cavidad cuyo volumen varía como consecuencia del movimiento de una parte móvil, obligando al líquido que las llena a moverse en un sentido determinado por la apertura y cierre de válvulas. La más usada en bombeo fotovoltaico de este tipo bombas es la bomba de pistón. Las bombas de pistón son apropiadas para los valores elevados de altura manométrica y bajos caudales.

Las bombas dinámicas le transfieren al fluido una cantidad de movimiento mediante paletas o alabes giratorios. La más utilizada es la bomba centrífuga. Las bombas centrífugas se diseñan para alturas manométricas determinadas y proporcional más caudal que las bombas de desplazamiento positivo.

No son recomendables para alturas de aspiración mayores de 5 -6 metros y pueden tener uno o varios cuerpos dependiendo de la altura de impulsión necesaria.

Para caracterizar las bombas se utilizan curvas características que relacionan el caudal con la altura manométrica que pueden suministrar para un régimen de revoluciones determinado.

Además el rendimiento de las bombas centrifugas disminuye rápidamente con la velocidad de giro, las bombas centrifugas reúnen una serie de ventajas entre las que destacamos su simplicidad, con pocas partes móviles, su bajo costo, su robustez y la tolerancia a los pequeños pares de arranque.

También podemos clasificar las bombas en función de su forma de instalación en sumergibles, flotantes y de superficie. Las bombas sumergibles son apropiadas para los pozos de poco diámetro donde las variaciones de nivel son importantes para la acumulación de agua se hace en altura.

Las bombas flotantes se instalan en ríos, lagos o pozos de gran diámetro permitiendo una altura de aspiración constante y proporcionando un gran caudal con poca altura Manométrica.

Las de superficie se instalan en aquellos lugares en los que los niveles de agua de aspiración no sufre grandes oscilaciones, permitiendo la altura de aspiración dentro de un rango admitido por la bomba, generalmente < 6 m. en algunos casos las bombas son auto aspirantes como las utilizadas en piscinas que no requieren cebado de la tubería de aspiración (generalmente, h aspiración < 3 m).

VII. Metodología de Trabajo

Para poder emplear correctamente los sistemas de control es preciso conocer el comportamiento de los distintos parámetros que lo componen.

Los problemas relacionados con los sistemas de control, se resuelve utilizando ecuaciones diferenciales e integrales con el tiempo como variable primaria e independiente. Los cálculos con este método son relativamente largos y complejos. Al emplear su representación en función de transferencia estos se simplifica y se facilita su simulación utilizando la programación en CADE-SIMU.

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 razonable 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.

Si los efectos que estas propiedades ignoradas tienen sobre la respuesta, son pequeños, se obtendrá un buen acuerdo entre los resultados del análisis del modelo matemático y los resultados del estudio experimental del sistema físico

En esta metodología la modelación del sistema se hará por analogías de comportamientos entre sistemas que guardan un comportamiento similar, a pesar de ser de naturaleza diferente.

Además las leyes físicas: de acuerdo a la naturaleza del sistema, rigen la relación causal entre las variables de interés y las pruebas experimentales (análisis de la respuesta transitoria del sistema).

Una de las maneras para hallar la función de transferencia de un sistema es a través de las leyes físicas, a continuación se mostrará la ecuación fundamental de la función de transferencia a través de los parámetros físicos, cabe decir que para nuestro caso se utilizó una metodología experimental.



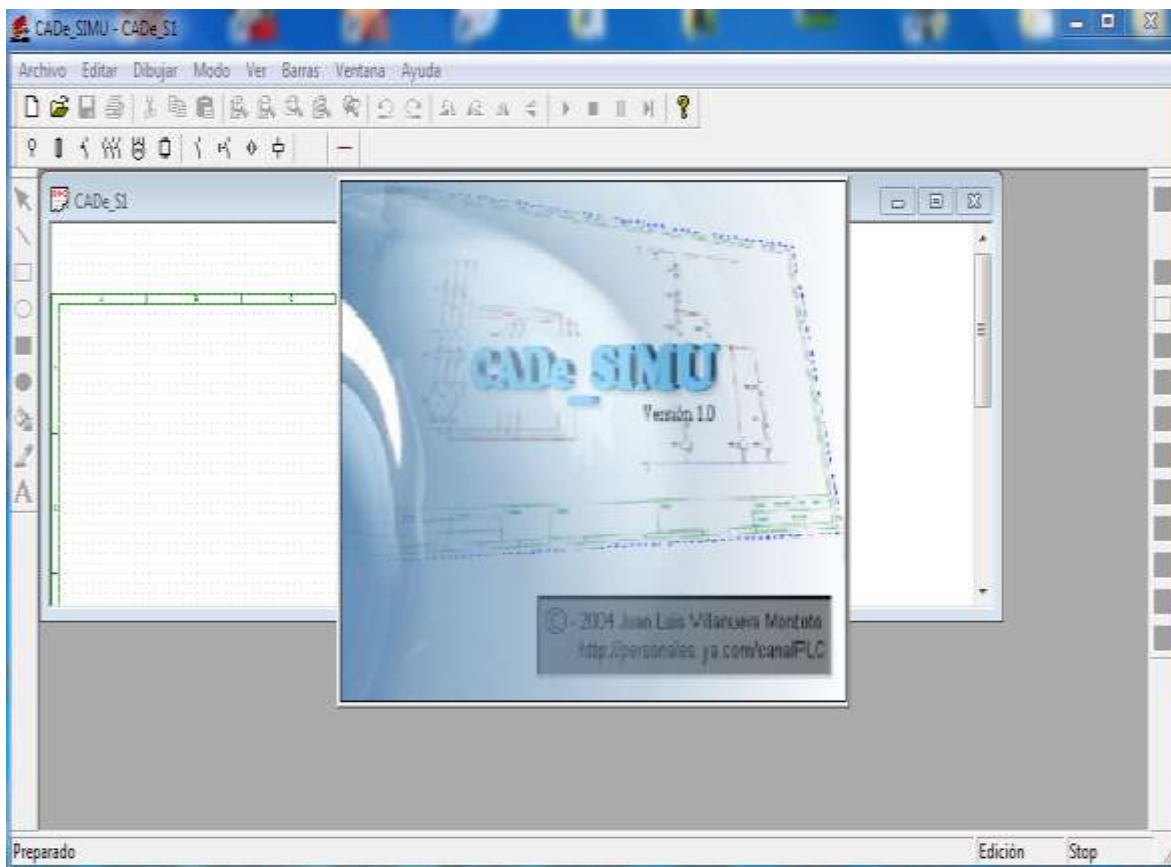
1. Primeramente se definen las variables de entrada y las salidas a controlar.
 2. Seguidamente se diseña el circuito experimental del sistema y se simula.
 3. Se van anotando las variables a corregir y mejorar.
 4. Adicionalmente se realizan los diagramas de fuerza y mando.
 5. Al final se simula el programa en CADE-SIMU.
-

VIII. Descripción del software CADE SIMU

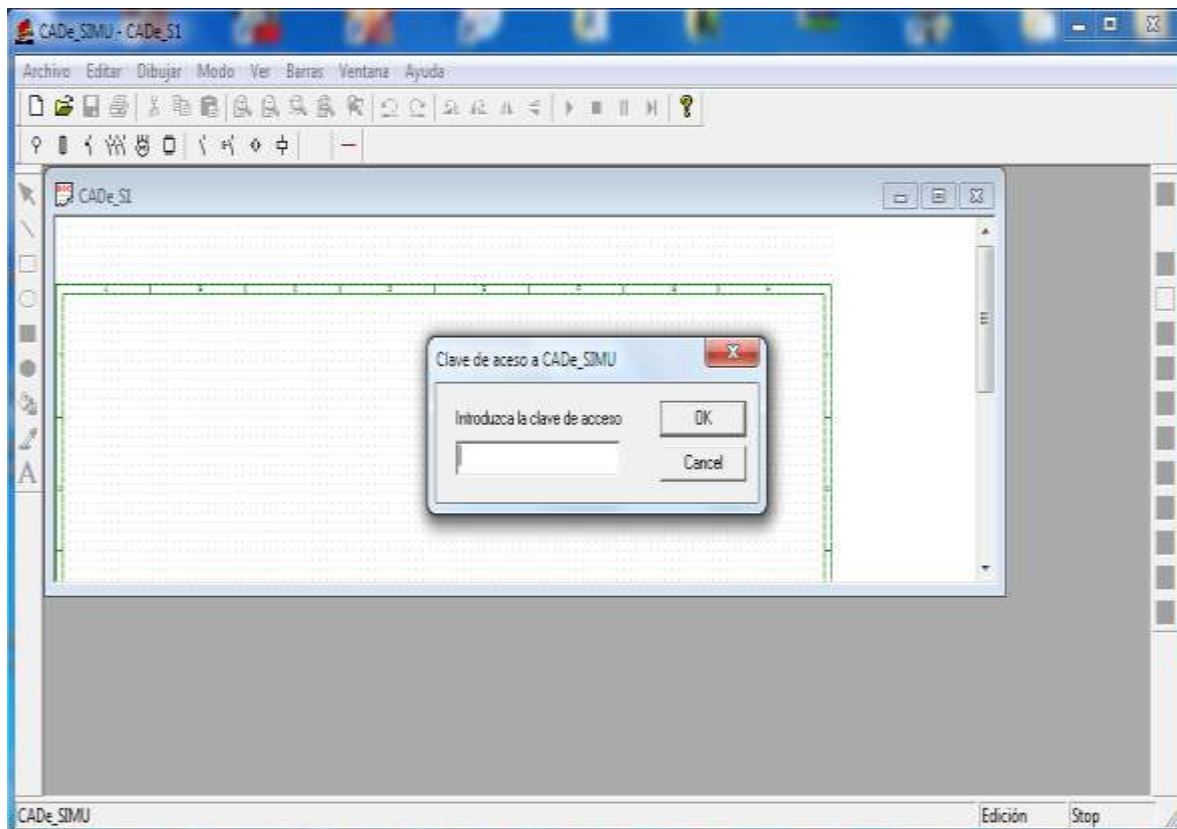
CADE-SIMU es un programa de edición y simulación de esquemas de automatismos eléctricos. No tiene instalador, se trata de un archivo en formato .ZIP que debe descomprimirse en cualquier carpeta y haciendo doble clic en el ejecutable, basta para que funcione. Además solicita una clave de acceso.

Los nuevos diseños eléctricos elaborados se guardan por defecto con la extensión .CAD, debemos siempre ejecutar el programa y después abrir el archivo que deseamos editar, no utilizar el doble clic sobre el archivo.

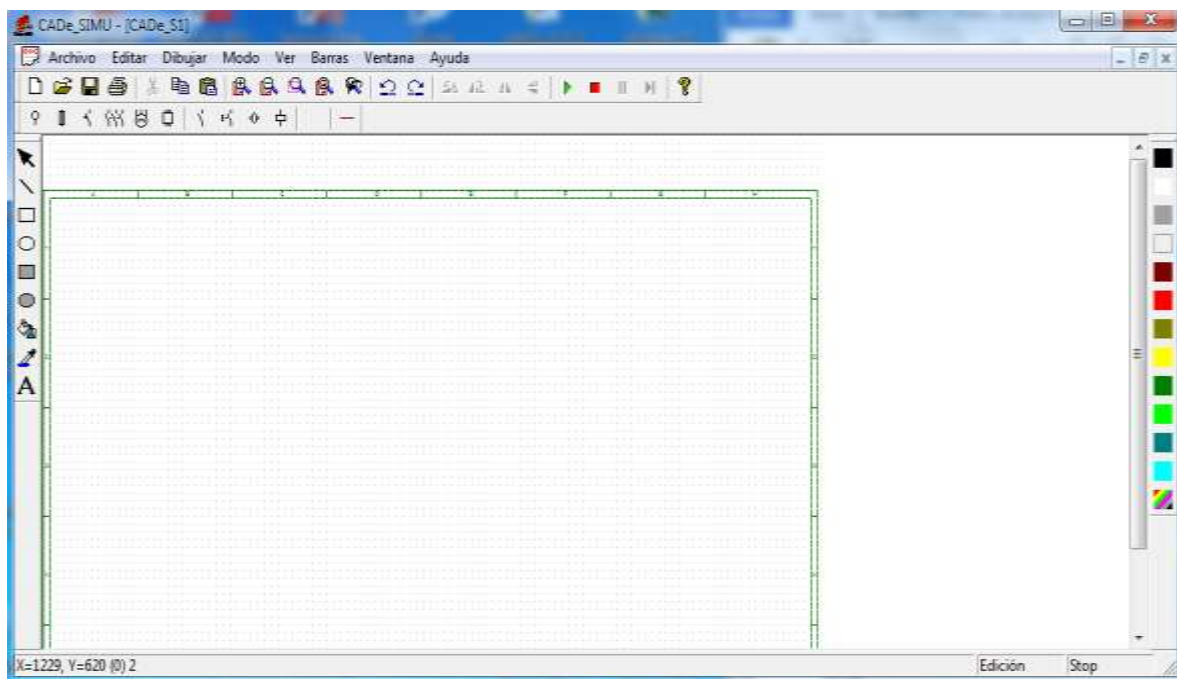
Interfaz del Programa CADE-SIMU



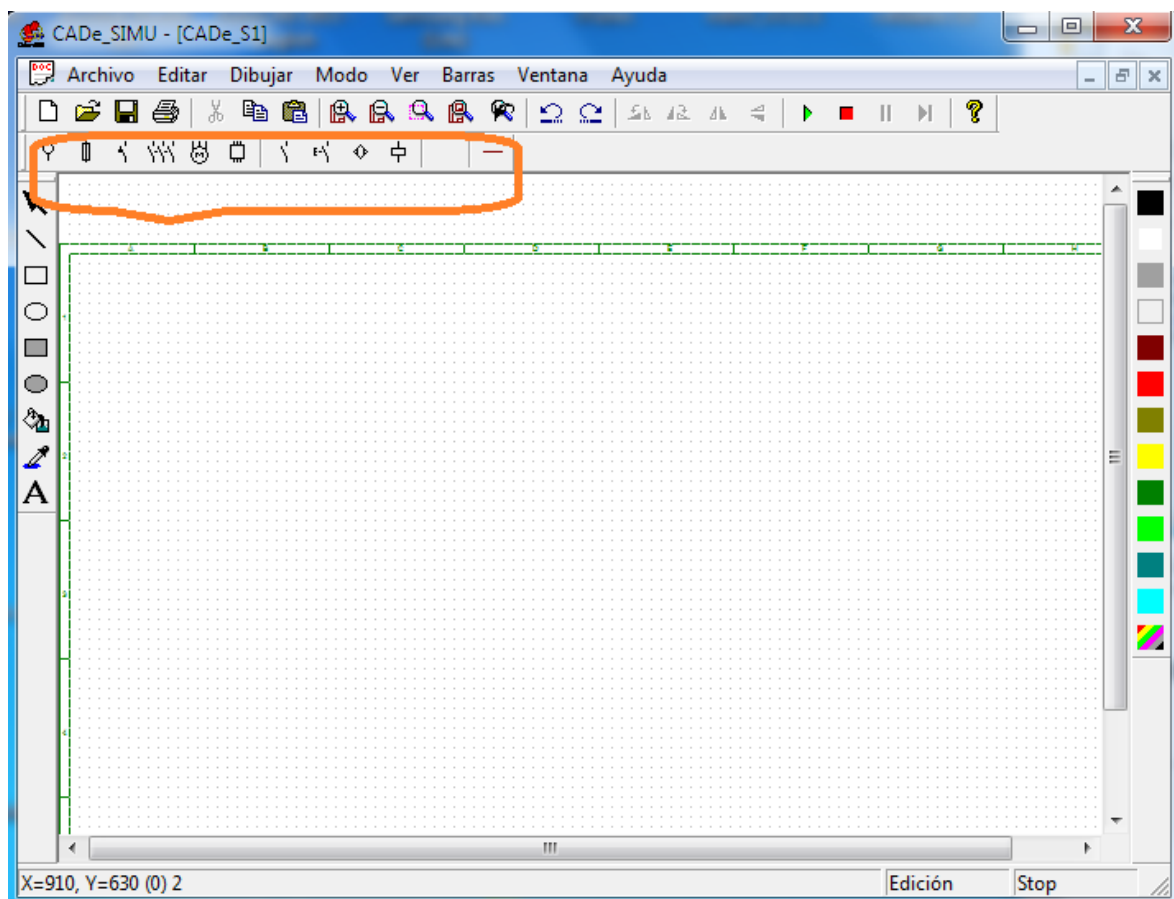
Inicio del programa, introducir clave 4962 (Importante si no introducimos clave no permitirá guardar el programa diseñado).



Listo para editar o simular el automatismo eléctrico de la maquina



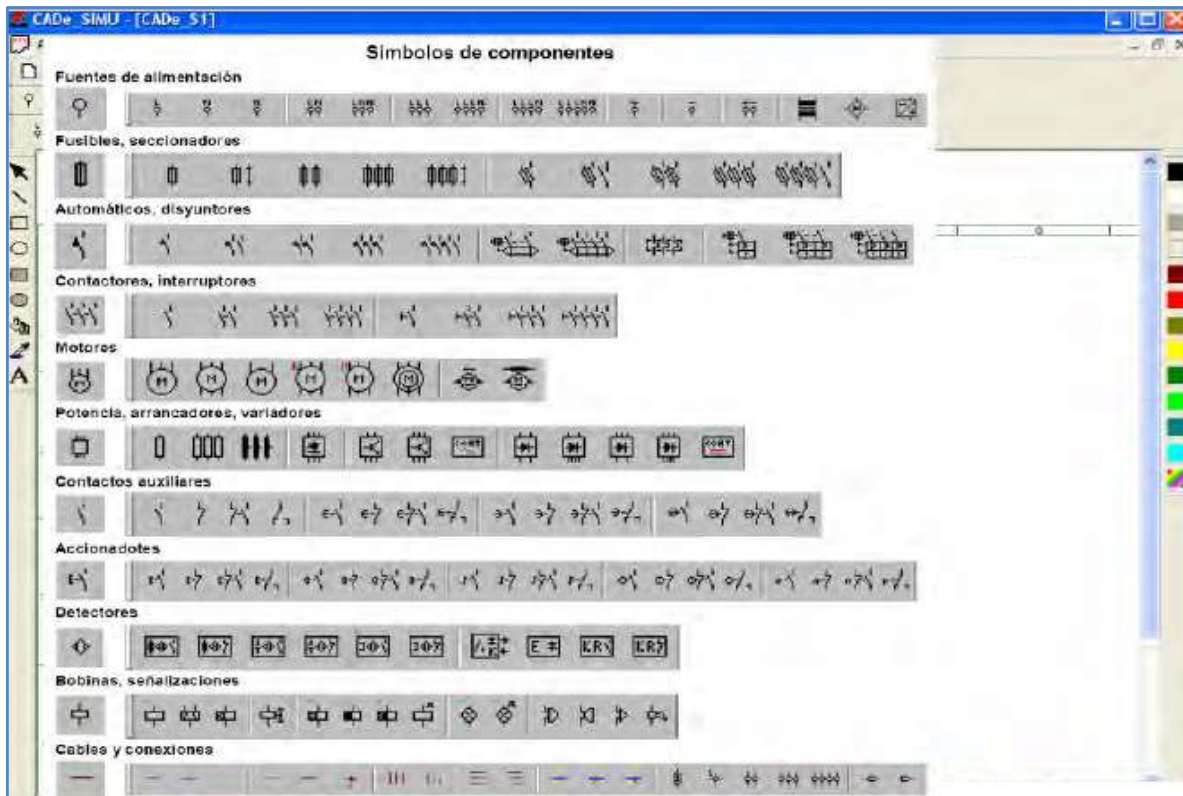
En la sección seleccionada tendremos distintos componentes agrupados por categoría. Al pulsar sobre ellos se desplegarán en la parte inferior los distintos símbolos de los elementos de cada categoría.



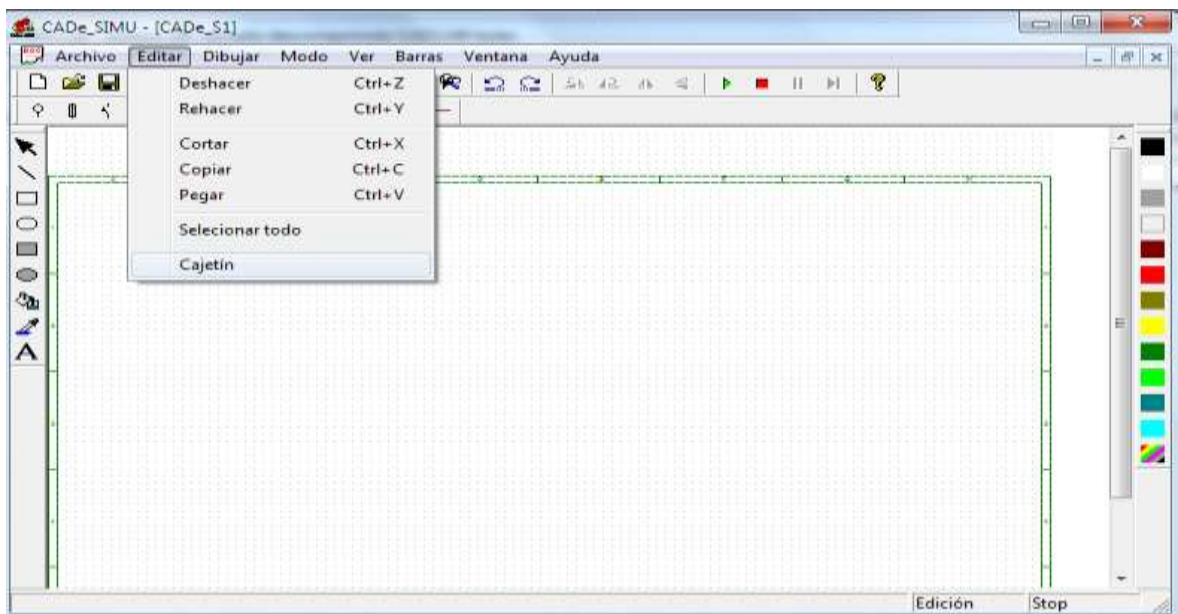
Las distintas categorías podemos verlas desplegadas en la página siguiente. Pasando el cursor por encima del componente, nos aparecerá una descripción del mismo.

Para insertarlo, bastará con pulsar sobre él y desplazar el cursor hasta el área de dibujo.

Símbolos de componentes



En el menú de edición podemos insertar los datos del esquema del cajetín

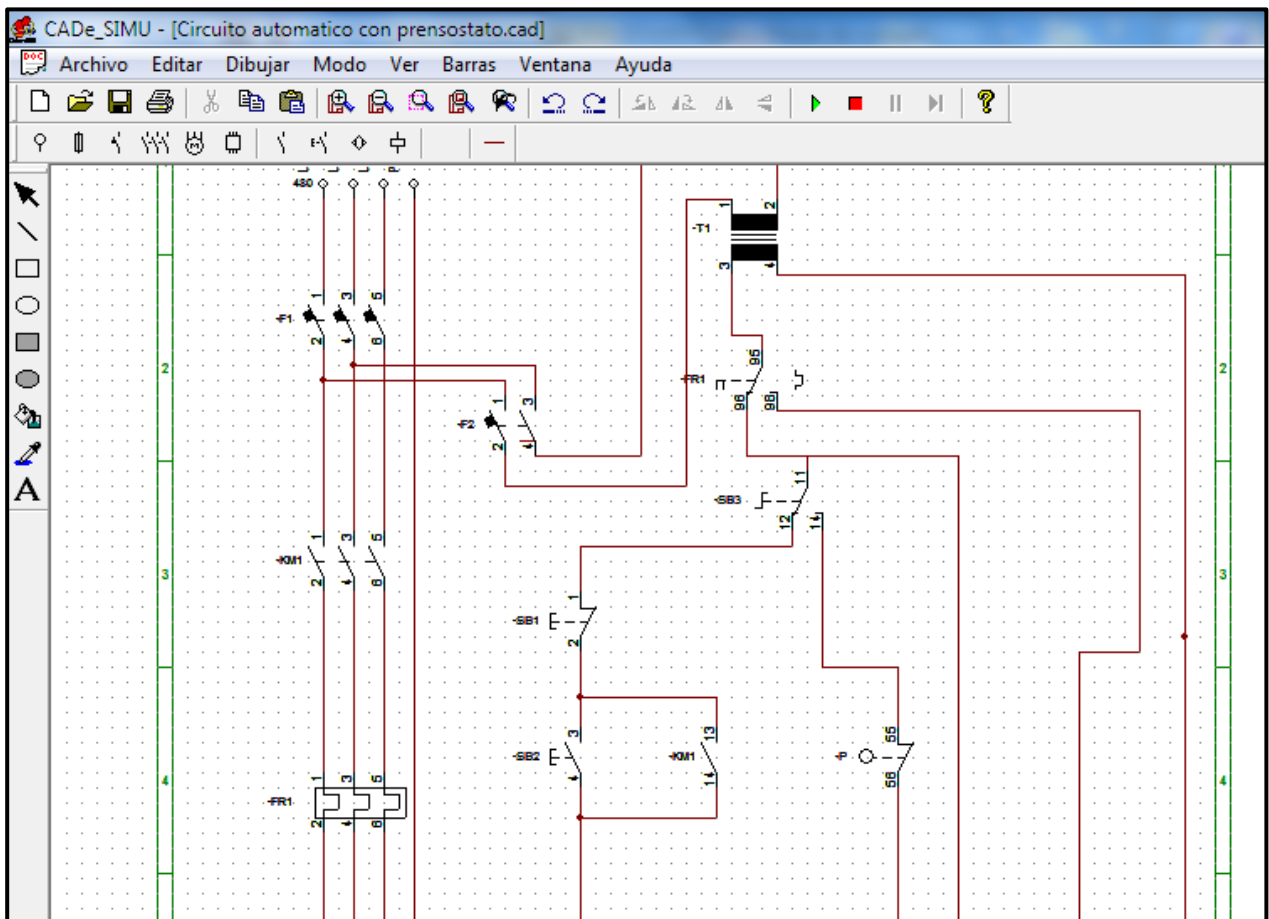


Este programa simula el funcionamiento de los esquemas, es necesario alimentar y conectar correctamente todos los componentes para que la simulación funcione de forma adecuada.

El marcado de los componentes es muy importante, ya que todo lo que este identificado con el mismo nombre actuara de modo simultaneo.

Se selecciona cada componente y se situaran en la zona donde lo queramos insertar, después se identificaran en el esquema.

Ejemplo de un diseño eléctrico



IX. Componentes del sistema eléctrico

A. Protección contra cortocircuitos

El circuito de protección contra cortocircuito tiene como objetivo garantizar la seguridad del sistema en caso de un funcionamiento incorrecto de los equipos, dispositivos del módulo para laboratorio, conexiones incorrectas durante la realización de las prácticas etc. El dispositivo a proteger al módulo de laboratorio es el breaker automático que brinda las siguientes características:

- Diseño con protección contra contacto accidental.
- Diseño con limitación de energía que protege mejor durante el cortocircuito a los componentes instalados.
- Accesorio de fácil montaje en campo.
- Válido para tensiones de CA y CD en un sólo dispositivo.



Breaker automático.

B. Guarda-motor

Para la protección del motor se instaló un guarda-motor que es un disyuntor magneto-térmico, especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos.

Éste diseño especial proporciona al dispositivo una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobre-intensidades transitorias típicas de los arranques de los motores.

El disparo magnético es equivalente al de otros interruptores automáticos pero el disparo térmico se produce con una intensidad y tiempo mayores.

La característica principal del guarda-motor, al igual que de otros interruptores automáticos magneto-térmicos, son la capacidad de ruptura, la intensidad nominal o calibre y la curva de disparo. Proporciona protección frente a sobrecargas del motor y cortocircuitos, así como, en algunos casos, frente a falta de fase.

1. Protección contra sobrecargas.
2. Protección contra cortocircuitos.
3. Maniobras normales manuales de cierre y apertura.
4. Señalización.



Guarda-motor Siemens.

C. Contactor

Aparato de conexión, con una sola posición de reposo, accionado a distancia y capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluidas las sobrecargas en servicio.

Está constituido por un circuito de mando, unos contactos principales y unos contactos auxiliares.



Vista de un Contactor Modelo Sirius del fabricante Siemens

El circuito de mando está formado por un electroimán con circuito magnético, con una parte fija y otra móvil y una bobina de excitación.

Los contactos principales, son los encargados del corte y restablecimiento de la corriente en el circuito principal. Unos son fijos y otros móviles, sujetos mecánicamente al elemento móvil del electroimán. Deben tener gran resistencia mecánica para resistir muchas conexiones y desconexiones, y también alta conductividad, por lo que se recubren habitualmente con plata y níquel.

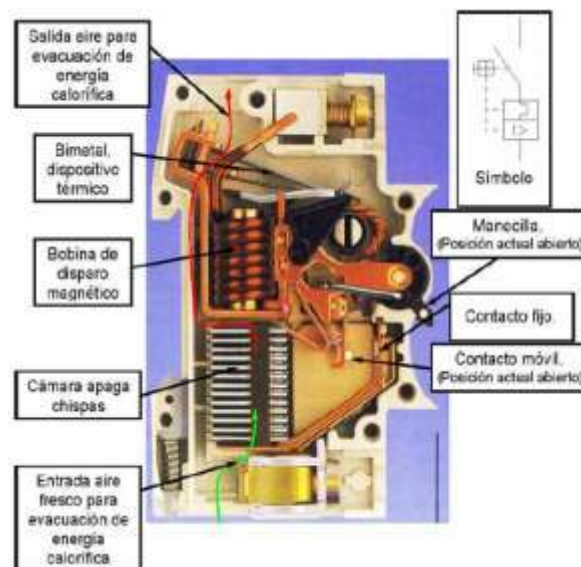
Los contactos auxiliares abren y cierran el circuito de mando actuando sobre la bobina del contactor. Los contactos auxiliares suelen ser normalmente abiertos, aunque pueden tener otras configuraciones, actúan igual que los contactos auxiliares, cerrando el circuito auxiliar cuando se cierra el circuito principal.

Al conectar a una tensión la bobina del contactor, que está en estado de reposo, crea un flujo magnético que atrae la parte móvil del circuito magnético y como consecuencia, cierra los contactos principales y auxiliares normalmente abiertos, mientras que abre los contactos auxiliares normalmente cerrados. Al desconectar la bobina, los muelles hacen volver la parte móvil a la posición de reposo.

D. Interruptor magnetotérmico

Aparato mecánico de conexión capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales, así como de establecer, soportar durante un tiempo y cortar corrientes de corto circuito.

El interruptor automático está constituido principalmente por las siguientes partes:



Sección lateral de un Interruptor Magnetotérmico (Fuente: Imagen de José Manuel Pérez

Trujillo cedida a Wikipedia

Son aparatos modulares, pueden tener de uno a cuatro polos: unipolares, bipolares, tripolares y tetrapolares.

Tienen incorporados un disparador térmico y otro magnético, que actúan sobre un dispositivo de corte.

El disparador térmico, consta de una lámina bimetálica, que al calentarse por encima de una determinada temperatura, sufre una deformación y provoca la apertura de un contacto, dejando el circuito abierto.

Este comportamiento se produce en base al efecto Joule por el cual, la temperatura de esta lámina esta proporcionalmente ligada a la corriente que la atraviesa, por lo que se pretende limitar la corriente de funcionamiento del circuito a proteger aguas abajo. Este sistema se utiliza para detectar sobrecargas

E. Interruptor diferencial

Se trata de un aparato mecánico de conexión, que actúa interrumpiendo el paso de la corriente al circuito que protege, cuando detecta que la diferencia entre la corriente de entrada y la de salida superan un valor límite.



Imágenes de los interruptores diferenciales de dos y cuatro polos

(Fuente: ABB [17]).

Se utiliza cuando el neutro está unido directamente a tierra y está constituido esencialmente, por un núcleo magnético, bobinas conductoras y bobina con dispositivo de corte.

Cuando la intensidad que circula por los dos conductores no es igual, por haber una fuga a tierra (IT), el campo magnético resultante no es nulo, induciéndose una corriente en la bobina del dispositivo de corte, el cual actúa interrumpiendo el circuito.

Se llama sensibilidad del diferencial a la mínima intensidad de corriente de fuga a tierra, para la que el aparato se desconecta. Se llaman de alta sensibilidad los interruptores diferenciales de sensibilidad menor o igual de 30 mA y de baja los de sensibilidad mayor de 30 mA.

F. Circuitos de paro de emergencia

En el circuito de paro de emergencia, debe tener en cuenta ciertos factores, de los cuales se menciona a continuación:

- Cuando se pulsa un paro de emergencia, la máquina en cuestión no podrá ponerse en marcha al desenclavarla, sin pulsar un RESET por el operario.
- Las paradas de emergencia deben ser activadas mediante un pulsador de tipo seta situado a pie de máquina, y si procede, en un punto del camino lógico de evacuación.
- Debe poseer un sistema de enclavamiento mecánico, de manera que para desenclavar es necesario girarla.

Se recomienda que la parada de emergencia se instale respetando los anteriores puntos, y que esta actúe cortando la alimentación de un relé en el cuadro de control, que se mantendrá siempre activo por auto-alimentación en estado normal cuyo reinicio será posible con un pulsador de rearme de operario. Este relé cortará la alimentación de maniobra o estará en el primer lugar de las seguridades mediante un contacto NA del mismo, y señalará el estado de parada de emergencia activada mediante un contacto NC.

➤ **Características del paro de emergencia:**

- Estilos de presionar-halar o desbloqueo por rotación.
- Iluminado o sin iluminación.
- Operadores de plástico o metálicos.
- Bloqueo de contacto de auto monitoreo NC.



Mando de paro de emergencia.

➤ **Selector – luces piloto**

Los dispositivos de mando son de gran importancia para la comunicación persona-dispositivo en el área de aplicaciones industriales.

El selector de tres posiciones que será utilizado, está montado al final del panel, proporcionando el mando de la energía al módulo.

En la parte inferior se encuentran las luces piloto que nos sirve de señalización, es decir, en el momento de accionamiento se encenderá la luz de color verde que nos indicará el paso de energía al módulo.

En el campo industrial podemos ver que los selectores se hallan montados en pletinas de conmutación, paneles de control, por ambas manos, en la manufactura de ascensores y en las plantas de manejo de materiales, incluidas cintas transportadoras. El accionamiento manual de los dispositivos empieza operando secuencias y procesos funcionales, o sirve para conducir éstos a un final.



Selector de tres posiciones



Luz piloto

G. Sensor de proximidad.

Un sensor se define como un dispositivo que proporciona una información legible sobre una variable física del sistema.

Los sensores de presencia nos permiten detectar si un objeto está en una posición determinada o cerca de alguna zona, son sensores todo o nada y tienen dos formas de configuración, normalmente abierta y normalmente cerrada.

De esta manera un sensor con configuración normalmente abierta, cerrará su conexión cuando detecte el paso de objetos, proporcionando una señal lógica y no hará nada en ausencia de los mismos.

Por otro lado un sensor con configuración normalmente cerrada, proporcionará una señal lógica siempre y cuando no se detecten objetos y abrirá su contacto dejando de emitir la señal cuando detecte el paso de los mismos.

Podemos clasificarlos en:

- Sensores de contacto: Electromecánicos.
 - Sensores de proximidad: Inductivos, Capacitivos, Ópticos, Ultrasonidos, Reed.
-

Todos los sensores se pueden clasificar según el tipo de señal de salida, esta puede ser analógica o digital, según la magnitud física a detectar, posición, velocidad, nivel, temperatura, fuerza, etc. También se puede clasificar según el parámetro variable, resistivo, capacitivo, inductivo, piezoeléctrico, etc...

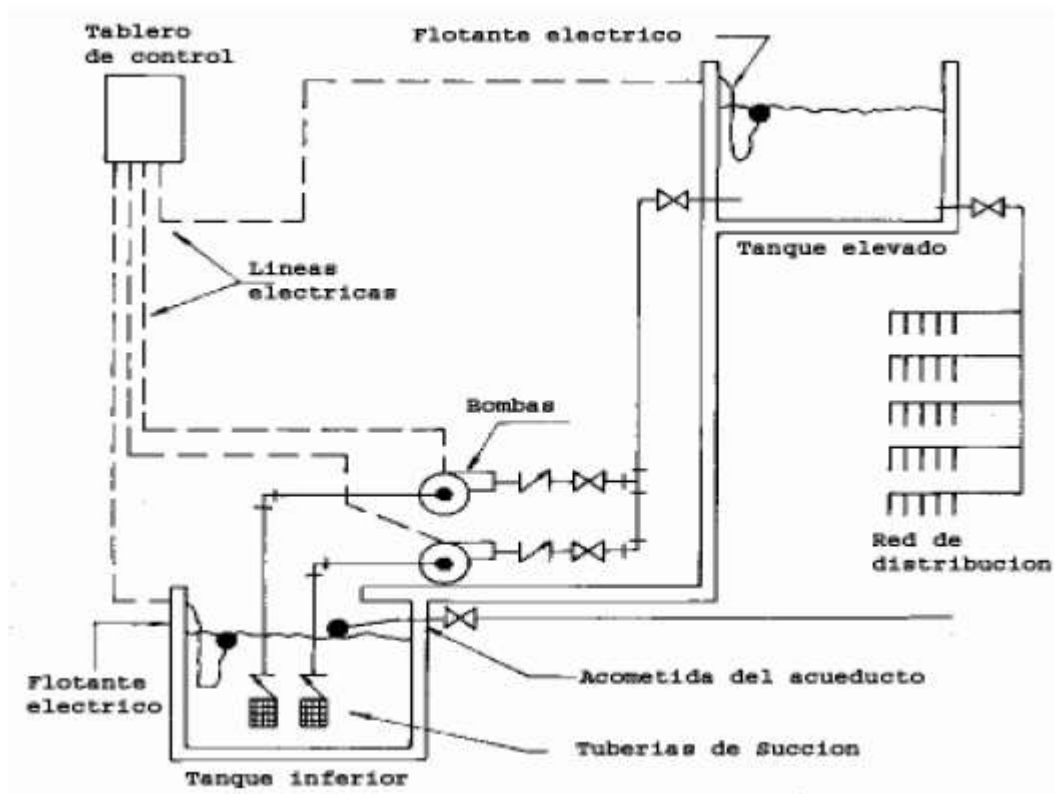
Las características principales de un sensor son el rango de medida, la resolución, la precisión, la repetición, la curva de calibración, sensibilidad, linealidad, histéresis, velocidad de respuesta y errores.

Los criterios de selección que hay que tener en cuenta a la hora de elegir un sensor frente a otros son:

- Naturaleza de la magnitud a medir.
 - Tipo de señal de salida.
 - Utilización.
 - Equipos disponibles.
 - Condiciones de utilización, grado de protección necesario.
 - Especificaciones técnicas.
 - Alimentación y consumo del sensor.
 - Coste.
-

X. Sistema de bombeo de tanque a tanque

Este sistema consiste por ejemplo en un tanque elevado en la azotea del edificio; con una altura que permita la presión de agua establecida según las normas sobre la pieza más desfavorable.



Desde el tanque elevado se hace descender una tubería vertical de la cual surgirá para cada piso, una ramificación a los apartamentos correspondientes al mismo, dándose de esta forma el suministro por gravedad. Este sistema requiere del estudio de las presiones de cada piso, asegurándose con este que las mismas no sobrepasen los valores adecuados.

En la parte inferior de la edificación existe un tanque, el cual puede ser superficial, semi subterráneo o subterráneo y en el que se almacenará el agua que llega del abastecimiento público.

Desde este tanque un número de bombas establecido (casi siempre una o dos), conectadas en paralelo impulsarán el agua al tanque elevado.

10.1 Consideraciones generales para el cálculo

El cálculo del sistema de bombeo de tanque a tanque requiere de dos pasos previos, del cálculo de la dotación diaria (y caudal de bombeo) y de la carga dinámica total de bombeo. Sin embargo se hace necesario la coordinación de algunos parámetros, los cuales se explican en los párrafos siguientes:

- Cuando fuere necesario emplear una combinación de tanque bajo, bomba de elevación y estanque elevado, debido a presión insuficiente en el acueducto público, y/o a interrupciones de servicio frecuentes, el volumen utilizable del estanque bajo no será menor e las dos terceras ($2/3$) partes de la dotación diaria y el volumen utilizable del estanque elevado no será menor de la tercera ($1/3$) parte de dicha dotación.
 - La tubería de aducción desde el abastecimiento público hasta los estanques de almacenamiento, deberá calcularse para suministrar el consumo total diario de la edificación en un tiempo no mayor de cuatro (4) horas, teniendo como base la presión de suministro, diámetro y recorrido de la aducción.
 - La tubería de bombeo entre un estanque bajo y el elevado deberá ser independiente de la tubería de distribución, calculándose el diámetro para que pueda llenar el estanque elevado en un máximo de dos (2) horas, previendo en esta que la velocidad esté comprendida entre 0.60 y 3.00 m/seg.
 - Los diámetros de la tubería de impulsión de las bombas se determinarán en función del gasto de bombeo, pudiendo seleccionarse conforme a la siguiente tabla
-

Caudales				Diámetros	
Lts/Seg				Nominal	Interno
				Plg	cms
	hasta		0,85	3/4"	2,09
de	0,86	a	1,50	1"	2,66
de	1,51	a	2,30	1 ¼"	3,53
de	2,31	a	3,40	1 ½"	4,09
de	3,41	a	6,00	2"	5,25
de	6,01	a	9,50	2 ½"	6,27
de	9,51	a	13,50	3"	7,79
de	13,51	a	24,00	4"	10,2

- Puede estimarse el diámetro de la tubería de succión, igual al diámetro inmediatamente superior al de la tubería de impulsión, indicada en la tabla anterior.
 - En la tubería de impulsión e inmediatamente después de la bomba, deberán instalarse una válvula de retención y una llave de compuerta.
 - En el caso de que la tubería de succión no trabaje bajo carga (succión negativa), deberá instalarse una válvula de pie en su extremo, para prevenir el descebado de las bombas.
 - La capacidad del sistema de bombeo deberá ser diseñado de manera tal, que permita el llenar el estanque elevado en un tiempo no mayor de dos (2) horas.
 - Siendo la Altura Dinámica Total de bombeo ADT la resultante de la sumatoria de:
 1. Diferencia de cotas entre el sitio de colocación de la válvula de pie y la cota superior del agua en el tanque elevado.
 2. Las fricciones ocurridas en la succión de la bomba, descarga de la misma y Montante hasta el tanque elevado.
-

-
- 3. Presión residual a la descarga del tanque elevado (± 2.00 a 4.00 m.).
 - **Nota:** La selección de los equipos de bombeo deberá hacerse en base a las curvas características de los mismos y de acuerdo a las condiciones del sistema de distribución.

10.2 Dimensionamiento de las bombas y motores

La potencia de la bomba podrá calcularse por la fórmula siguiente:

$$CV = \frac{Q \text{ (lps)} * H \text{ (metros)}}{75 * (n\%/100)}$$

CV = Potencia de la bomba en **caballos de vapor** (para caballos de fuerza usar una constante de 76 en lugar de 75).

Q = Capacidad de la bomba.

ADT = Carga total de la bomba.

n = Rendimiento de la bomba, que a los efectos del cálculo teórico se estima en 60%.

Los motores eléctricos que accionan las bombas deberán tener un margen de seguridad que las permita cierta tolerancia a la sobrecarga y deberá preverse los siguientes márgenes:

- 50% aprox. para potencia de la bomba hasta unos 2 HP.
- 30% aprox. para potencia de la bomba hasta unos 2 a 5 HP.
- 20% aprox. para potencia de la bomba hasta unos 5 a 10 HP.
- 15% aprox. para potencia de la bomba hasta unos 10 a 20 HP.
- 10% aprox. para potencia de la bomba superior a 20 HP.

Estos márgenes son meramente teóricos e indicativos y pueden ser variados según la curva de funcionamiento de la bomba o según las características específicas del motor aplicado.

XI. Sistema de automatización propuesto

A continuación se presentara el diseño de la instalación desde un punto de vista Eléctrico.

Los aspectos más importantes a tratar serán por un lado el dimensionamiento de la instalación, la elección de los equipos y el cumplimiento de la normativa NEMA, NEC y CIEN.

La instalación del sistema automatizado de la pila aérea, nace de la necesidad de evitar el derrame de líquido del tanque aéreo, a partir del paro del flujo de la bomba, en unas condiciones específicas de seguridad.

El proceso de suministrar agua por gravedad a la planta, empieza desde el llenado del tanque, en el cual existen tres áreas bien diferenciadas ya que existen tres niveles en el mismo.

Con estas premisas, se genera un concepto de instalación y de aplicación en el llenado de tanques, ya sea de cualquier líquido, para evitar un derrame, movidas por sendos motores eléctricos de inducción.

Los criterios de diseño eléctrico, del sistema automatizado de la pila aérea, son la creación de una instalación, en baja tensión y con equipos descentralizados.

La alimentación de los equipos se realizará con tensiones de línea de 220 V para los circuitos trifásicos en alterna. Los circuitos de mando se alimentarán a 220 V en alterna.

La instalación estará dividida en tres circuitos eléctricos principales con entradas de alimentación independientes. Uno de ellos constará principalmente de un variador de frecuencia, contactores de entrada, contactores de salida, los aparatos protección de los motores, circuito de mando.

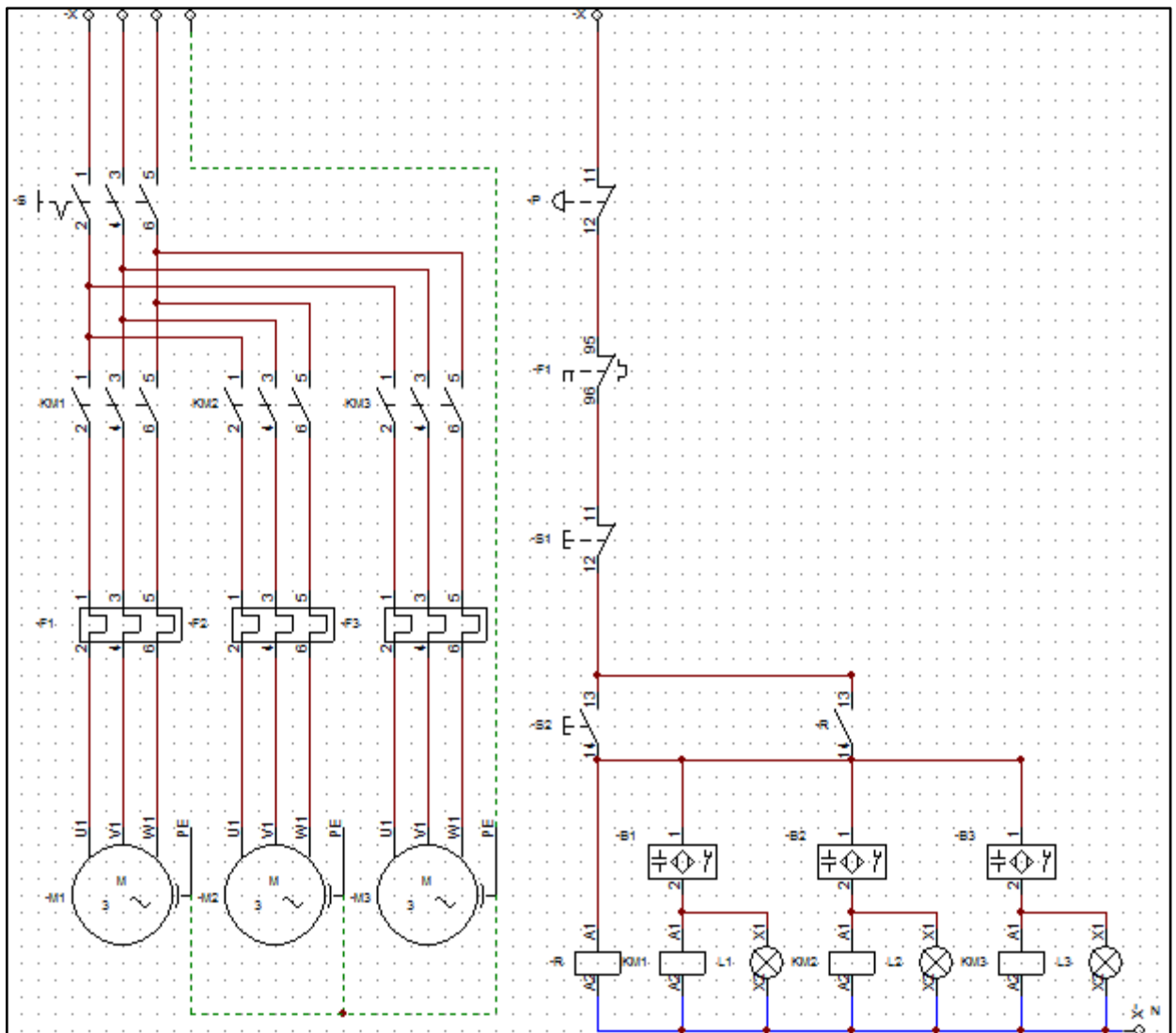
11.1 Funcionamiento de la pila aérea Llenado automático

El mando y la fuerza son en 220V

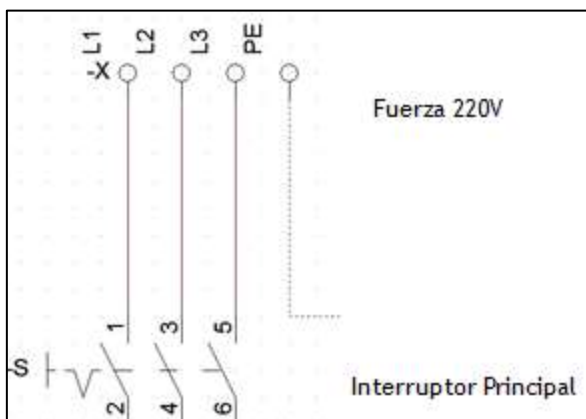
En una empresa X construyeron una pila aérea para suministrar por gravedad la planta de producción. El nivel es controlado por sensores capacitivos instalados al lado de la pila aérea, ubicados en tres niveles diferentes para activar o desactivar los motores.

Hay tres motores que son controlados por un sensor cada uno, los cuales bombean agua del rio hasta la pila. El diagrama eléctrico se presenta a continuación.

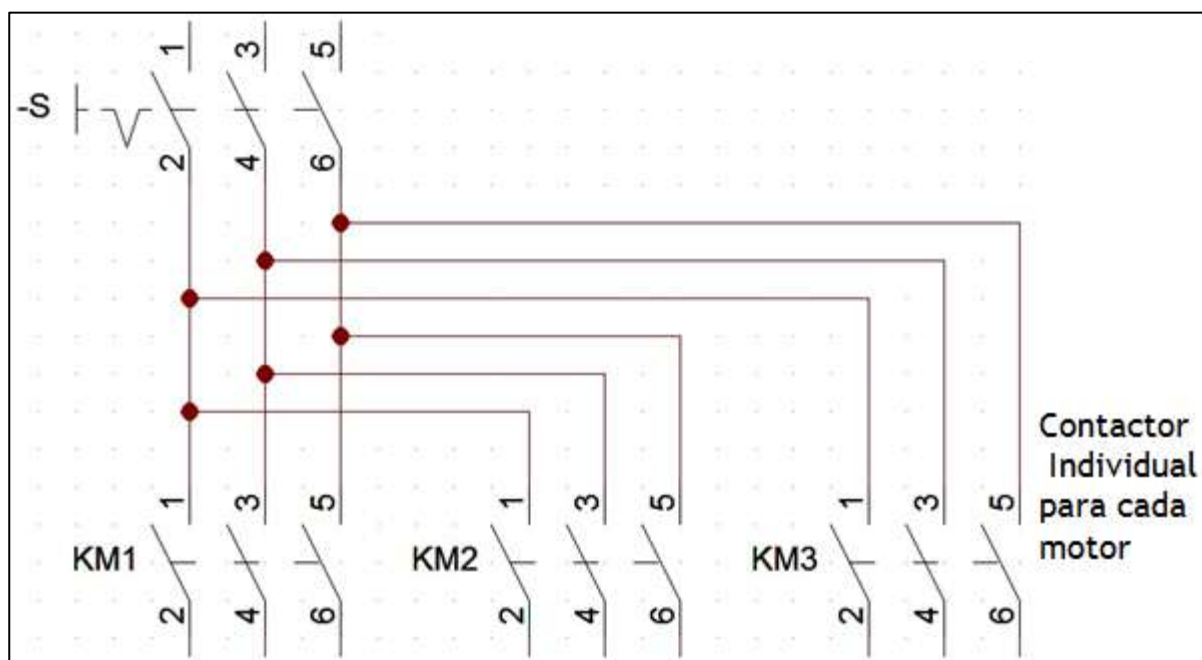
Diagrama de fuerza y mando



A continuación la alimentación principal en 220 v trifásico.

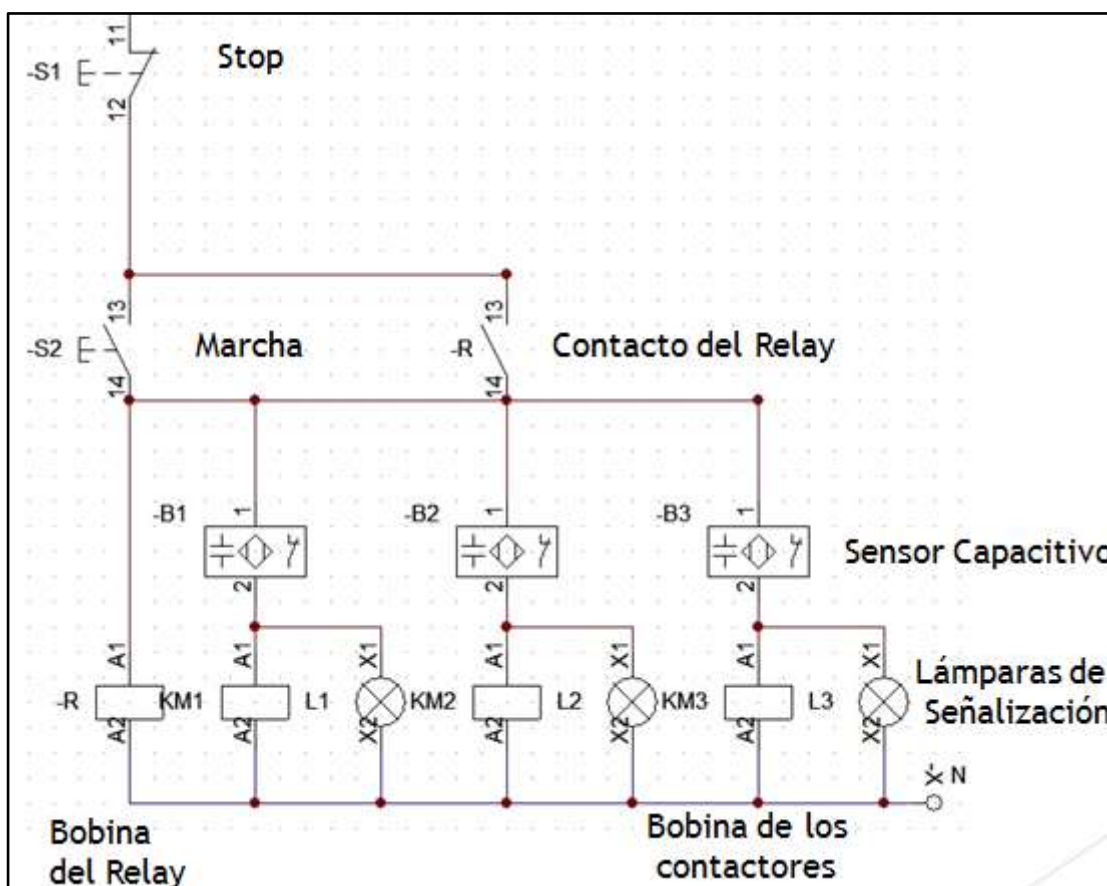


En el esquema también se representan tanto el interruptor como los contactores.



El proceso se desarrolla de la siguiente manera, existen tres niveles, bajo, medio y alto, donde están ubicados los sensores, cuando el nivel es bajo los tres motores son activados, a medida que el nivel de agua sube, el sensor detecta el agua abre su contacto y desactiva el primer motor, al llegar al nivel medio, se abre el contacto del segundo sensor y se desactiva el segundo motor, hasta llegar al nivel máximo donde el ultimo sensor abre su contacto y desactiva el ultimo motor.

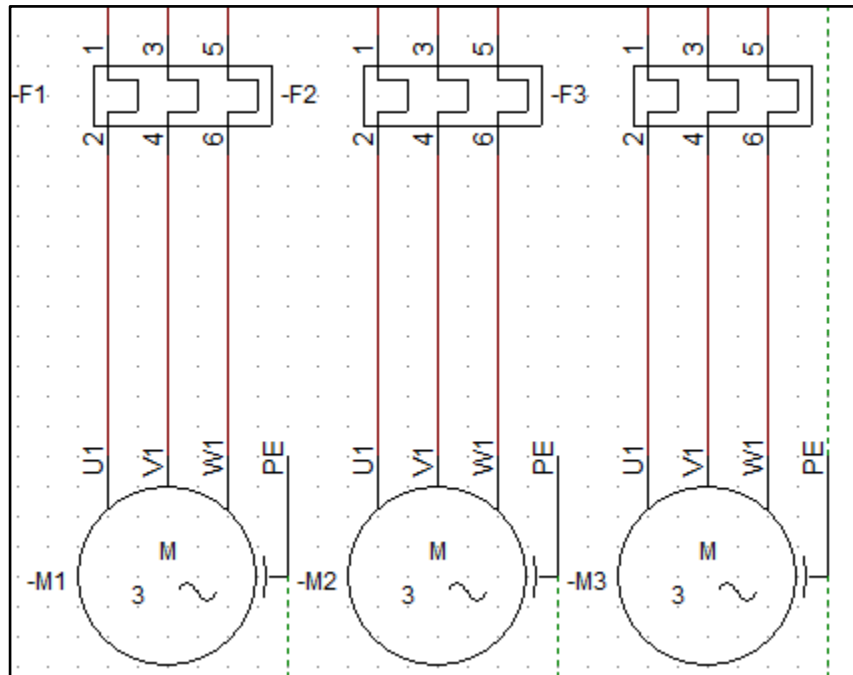
Diagrama de mando



Cuando sucede lo inverso, el nivel del agua baja del nivel del primer sensor activa el primer motor, si la demanda es mayor que la velocidad del llenado y el nivel del agua disminuye y llega al nivel medio se activara el segundo motor, y si disminuye al nivel bajo se activara el tercer motor.

Este sistema se trata de implementar para controlar el llenado de acuerdo a la demanda de agua que hay en la producción, es decir si nosotros tuviéramos solo un motor, la velocidad de llenado puede que no sea suficiente con respecto a la demanda, y que provoque en algún momento el vacío total causando paro en la producción.

Protecciones del motor



En la fuerza se utilizó un interruptor automático, un contactor y bimetálico para cada motor. En el control se utiliza paro de emergencia para desactivar todo el sistema, un stop, una marcha, y un relay que es el que se mantiene activo, durante la operación, y tres sensores capacitivos uno para cada motor.

XII. Conclusiones

De acuerdo al planteamiento de los objetivos de trabajo de tesis es posible desarrollar un diseño del sistema eléctrico para el sistema de llenado de una pila aérea o tanque de agua o cualquier líquido.

Se puede constatar que con el sistema propuesto se puede mejorar los tiempos de llenado del sistema actual, ya que todo sería automático y de manera remota se encenderán los motores de las bombas.

Además como futuros ingenieros nos propusimos estudiar la teoría general de control automático y sus aplicaciones en los sistemas de llenado de un recipiente, que es una aplicación de la vida real, ya sea en la industrial.

También se logró describir el funcionamiento del sistema de control de nivel del tanque con el sensor capacitivo.

Como resultado del estudio se logró elaborar los diagramas eléctricos tanto de fuerza como de mando del sistema.

Y para finalizar se utilizó el software CADE-SIMU para Simular la dinámica del sistema de llenado del tanque propuesto, el cual resulto ser una herramienta muy práctica.

XIII. Bibliografía

1. Katsuhiko Ogata, (2010) "En Introducción a los sistemas de control". Ingeniería de control moderna. (pp.4-7). Madrid, Esp..
2. Ing. Mario Pérez, (2008) "Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales Invariantes en el tiempo." (pp. 2-10) Recuperado de <http://dea.unsj.edu.ar/control1b/teoria/unidad1y2.pdf>.
3. A.A, Ingeniería de sistemas y automática, (2007) "Sensores y actuadores"(pp. 2-14) Recuperado de <http://isa.uniovi.es/docencia/autom3m/Temas/Tema7.pdf>
4. CONTROL DE NIVEL PARA TANQUES DE AGUA CON REALIMENTACIÓN.
<http://docentes.uni.edu.ni/fec/Alejandro.Mendez/Nivel1.pdf>