

**Tesis Monográfica para optar al Título de
Ingeniero Eléctrico**

Título:

**“Propuesta de Diseño de Control de un Sistema Hidroneumático a
Presión Constante, Considerando un Sistema de Respaldo
Multibombas”.**

Autores:

- Br. Dayana Paola Leiva Rodríguez 2006-23319
- Br. Daylor Josué Paguaga Gutiérrez 2010-33279

Tutor:

MSc. Ernesto Jose Lira Rocha

Managua, Mayo 2018

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	5
II.	Antecedente.....	7
III.	Justificación.....	8
IV.	Objetivos del Estudio.....	9
4.1	Objetivo General.....	9
4.2	Objetivo Específico.....	9
V.	Marco Teórico.....	10
5.1	Sistemas hidroneumáticos.....	10
5.2	Principio de funcionamiento.....	10
5.3	Componentes del sistema hidroneumático.....	11
5.4	Calculo de las bombas y motores.....	12
5.5	Bombas eléctricas.....	13
5.6	Sistema de control hidroneumático.....	14
5.7	Tableros de control y potencia.....	15
5.8	Dispositivos de arranque para motores.....	21
5.9	Tipos de Planos Eléctricos.....	22
VI.	Hipótesis y variable.....	24
VII.	Metodología de Trabajo.....	25
7.1	Recopilación de la información y trabajo de campo.....	25
7.2	Análisis de datos.....	25
7.3	Análisis de problemas potenciales.....	26
7.4	Búsqueda en el mercado local los equipos.....	26
7.5	Elaborar el informe del estudio para la implementación del sistema.....	26
VIII.	Propuesta del Software para el diseño.....	27
IX.	Alternativa de sistema Hidroneumático con razonamiento horario.....	32
X.	Algunos requisitos para la selección de bombas.....	37
10.1	Selección de equipo.....	39
XI.	Propuesta del sistema hidroneumático.....	46
XII.	Conclusiones.....	49
XIII.	Bibliografía.....	50

LISTA DE ABREVIACIONES

AMPS	Amperios
HP	Caballos de Fuerza
H	Carga bruta del sistema
P	Presión
M/s	Metros por segundo
H	Carga bruta del sistema
Hb	Carga de la bomba
Q	Caudal volumétrico
C	Coefficiente de descarga
n	Eficiencia
psi	Libras por pulgada cuadrada
W	<i>Watts</i>
Hz	frecuencia
Ns	velocidad síncrona rpm
RPM	Revoluciones por minuto.
V	Voltio
VCA	Voltaje de corriente alterna
Pot	Potencia

I. Introducción

Entre los diferentes sistemas de abastecimiento y distribución de agua en edificios e instalaciones, los Equipos Hidroneumáticos han demostrado ser una opción eficiente y versátil, con grandes ventajas frente a otros sistemas; este sistema evita construir tanques elevados, colocando un sistema de tanques parcialmente llenos con aire a presión.

Esto hace que la red hidráulica mantenga una presión excelente, mejorando el funcionamiento de lavadoras, filtros, regaderas, llenado rápido de depósitos en excusado, operaciones de fluxómetros, riego por aspersión, entre otros; demostrando así la importancia de estos sistemas en diferentes áreas de aplicación. Así mismo evita la acumulación de sarro en tuberías por flujo a bajas velocidades.

Este sistema no requiere tanques ni red hidráulica de distribución en las azoteas de los edificios (evitando problemas de humedades por fugas en la red) que dan tan mal aspecto a las fachadas y quedando este espacio libre para diferentes usos.

Un deficiente cálculo conlleva a una mala selección de equipo que a su vez desperdicia la energía tanto hidráulica como eléctrica, siendo necesario contar con un equipo adecuado, y para lograr que la utilización de estos recursos sea eficiente.

Además, todos los componentes de la bomba deben estar instalados correctamente y recibir un mantenimiento adecuado, para que se tenga la seguridad de que el sistema trabajará óptimamente y por largo tiempo.

En este trabajo se realizara el diseño eléctrico del sistema hidroneumático para abastecimiento de agua, con alternancia de las bombas eléctricas. El sistema en sí, tiene un enfoque del uso racional de la energía para la circulación constante

del agua en cualquier edificación, basados en parámetros definidos por el marco normativo reglamentario vigente a nivel nacional cumpliendo con los requisitos arquitectónicos de las obras civiles, teniendo como propósito mejorar la gestión del consumo de agua y energía eléctrica, disminuyendo el impacto ambiental y económico que representa la utilización de estos recursos.

La gran mayoría de los Sistemas hidroneumáticos, poseen bombas para el llenado de un tanque. Tener dos o más bombas permiten garantizar la continuidad del servicio cuando una de las bombas falla o requiere de mantenimiento preventivo. Para dosificar el gasto de las bombas y prolongar su vida útil, se requiere operarlas en forma alternada.

Con la alternancia de bombas se requiere:

- Mejor conservación de los equipos.
- Aumento de la calidad y de la productividad.
- Disminución de paralizaciones imprevistas.
- Disminución de reparaciones.
- Reducción de costos e
- Incremento de la vida útil de sus equipos.

Se expone el análisis de diferentes alternativas de circulación de los diferentes tipos de aguas para lograr el mejor diseño del sistema eléctrico y de automatización de los motores del sistema de bombas, caracterizando componentes eléctricos y electrónicos de alta calidad teniendo en cuenta información importante acerca de los parámetros de los equipos de bombeo resaltando la importancia de sus curvas características, atendiendo las necesidades de ahorro energético.

Se busca obtener como resultado un sistema de bombeo automatizado, funcionando de manera eficiente, acorde a las necesidades del uso de aguas no potables, logrando optimizar el uso de las mismas.

II. Antecedente

En la actualidad muchos sistema de abastecimiento de agua son por gravedad, en la que el agua cae por su propio peso desde un tanque elevado hasta los consumidores situados abajo .La energía utilizada para el desplazamiento es la energía potencial que tiene el agua por su altura.

Las ventajas principales de esta configuración son: No tiene gastos de bombeo, fácil mantenimiento, la presión del sistema se controla con mayor facilidad y robustez y fiabilidad.

Incluso los sistemas bombeados suelen diseñarse para distribuir el agua por gravedad a partir de un punto determinado.

En la actualidad debido a las exigencias del suministro adecuado de agua han surgidos diferentes necesidades de un buen sistemas de abastecimiento de agua en residenciales etc., por lo tanto los sistemas hidroneumáticos han demostrado ser una opción eficiente y versátil, con grandes ventajas a otros sistemas; este sistema evita construir tanques elevados, colocando un sistema de tanques parcialmente llenos con aire a presión.

Esto hace que la red hidráulica mantenga una presión excelente, mejorando el funcionamiento de lavadoras, filtros entre otros; demostrando así la importancia de estos sistemas en diferentes áreas de aplicación.

Los sistemas hidroneumáticos se basan en el principio de comprensibilidad o elasticidad del aire cuando es sometido a presión, funcionando de la siguiente manera: El agua que es suministrada desde el acueducto publico u otra fuente, es retenida en un tanque de almacenamiento; de donde atraves de un sistema de bombas, será impulsada a un recipiente a presión (de dimensiones y características calculadas en función de la red.

III. Justificación

Con el nuevo diseño propuesto de control del sistema hidroneumático para el abastecimiento de agua con alternancia de bombas eléctricas se busca que el sistema cumpla con las necesidades de suministro constante del servicio de agua, ante la falla de una de las bombas eléctricas o el previo mantenimiento de las mismas.

Además de garantizar la presión constante del líquido, también garantizara menos desgastes en las bombas eléctricas y disminuirá los costos de la energía eléctrica, debido a la disminución de los continuos arranques y paros.

Además al implementar la activación alterna de las bombas eléctricas permitirá mejorar el proceso, pues se obtienen reducciones en consumo de los motores.

También mejoras en el control operativo que optimizan la rentabilidad y productividad de los procesos, a la vez minimizan las pérdidas en instalaciones ya que los equipos demandaran de la red menores potencias en cualquier régimen de trabajo incluso en el arranque.

Se benefician los estudiantes y profesores ya que el resultado del estudio una vez desarrollado, puede ser el punto de partida para un próximo trabajo de tesis.

IV. Objetivos del Estudio

4.1 Objetivo General

- Elaborar la propuesta de diseño de control de un sistema hidroneumático a presión constante, considerando un sistema de respaldo multibombas.

4.2 Objetivo Específico

- Describir el funcionamiento y los elementos principales de un sistema hidroneumático y sus tipos de bombas.
- Utilizar el software CADE_Simu para la propuesta de diseño de control del sistema hidroneumático a presión constante.
- Elaborar un diseño eléctrico efectivo y eficiente para el nuevo sistema hidroneumático.
- Mejorar los elementos de control y protección de los sistemas eléctricos automatizados en los sistemas con alternancias de bombas eléctricas.

V. Marco Teórico

5.1 Sistemas hidroneumáticos

Es un sistema de bombeo que adicionalmente a la bomba cuenta con un tanque hidroneumático que almacena agua y aire a presión suministrado por un compresor, esto permite que el agua se encuentre a una presión suficiente para poder alimentar diversos ambientes de una edificación, manteniendo la presión en un rango predefinido por el usuario para garantizar un buen funcionamiento de lavadoras, filtros, regaderas, llenado rápido de depósitos en excusados, operaciones de fluxómetros y riego por aspersion entre otros.

Su nombre se debe a la combinación de aire comprimido y agua que se realiza en el tanque presurizado, de tal manera, que dicho tanque aprovecha las características de elasticidad del aire, para poder abastecer el agua, con la presión requerida para satisfacer las demandas de la red hidráulica con objeto, que la bomba no opere constantemente.

5.2 Principio de funcionamiento

El tanque presurizado cumple la función de almacenar parte del agua bombeada desde la fuente de abastecimiento o tanque de acopio comprimiendo el aire del mismo aumentando la presión en la red de distribución, puesto que está conectada al tanque.

Cuando el equipo de bombeo opera, parte del agua es enviada a la red, y el excedente va al tanque hidroneumático, en el cual al subir el nivel del agua, comprime el aire hasta llegar a una presión máxima predeterminada, la cual acciona el interruptor de presión, desconectándolo y parando el equipo de bombeo.

a) Componentes y accesorios

Los componentes de un sistema hidroneumático además de los equipos de bombeo son:

- Tanque presurizado.
- Alarmas y elementos de seguridad para aliviar presiones excesivas.
- Sistema de control de arranque y paro de la bomba.

5.3 Componentes del sistema hidroneumático

El Sistema Hidroneumático deberá estar construido y dotado de los componentes que se indican a continuación:

- Un tanque de presión, el cual consta entre otros de un orificio de entrada y otro de salida para el agua.
- Un número de bombas acorde con las exigencias de la red (una o dos para viviendas unifamiliares y dos o más para edificaciones mayores).
- Interruptor eléctrico para detener el funcionamiento del sistema, en caso de faltar el agua en el estanque bajo (Protección contra marcha en seco).
- Llaves de purga en las tuberías de drenaje.
- Válvula de retención en cada una de las tuberías de descarga de las bombas al tanque Hidroneumático.
- Conexiones flexibles para absorber las vibraciones.
- Llaves de paso entre la bomba y el equipo hidroneumático; entre este y el sistema de distribución.
- Manómetro.
- Válvula de seguridad.
- Dispositivo para control automático de la relación aire/agua.
- Interruptores de presión para arranque a presión mínima y parada a presión máxima, arranque aditivo de la bomba en turno y control del compresor.

-
- Indicador exterior de los niveles en el tanque de presión, par a la indicación visual de la relación aire-agua.
 - Tablero de potencia y control de los motores.
 - Dispositivo de drenaje del tanque hidroneumático, con su correspondiente llave de paso.
 - Compresor u otro mecanismo que reponga el aire perdido en el tanque hidroneumático.
 - Filtro para aire, en el compresor o equipo de inyección.

5.4 Cálculo de las bombas y motores

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

$$HP = \frac{Q(lps) * H(metros)}{76 * n(\%)100}$$

Dónde:

HP = Potencia de la bomba en caballos de fuerza.

Q = Capacidad de la bomba.

H = Carga total de la bomba (ADT).

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

Los motores eléctricos que accionan las bombas deberán tener, según las normas oficiales vigentes, una potencia normal según las fórmulas siguientes:

HP (motor) = 1,3 * HP (bomba) para motores trifásicos

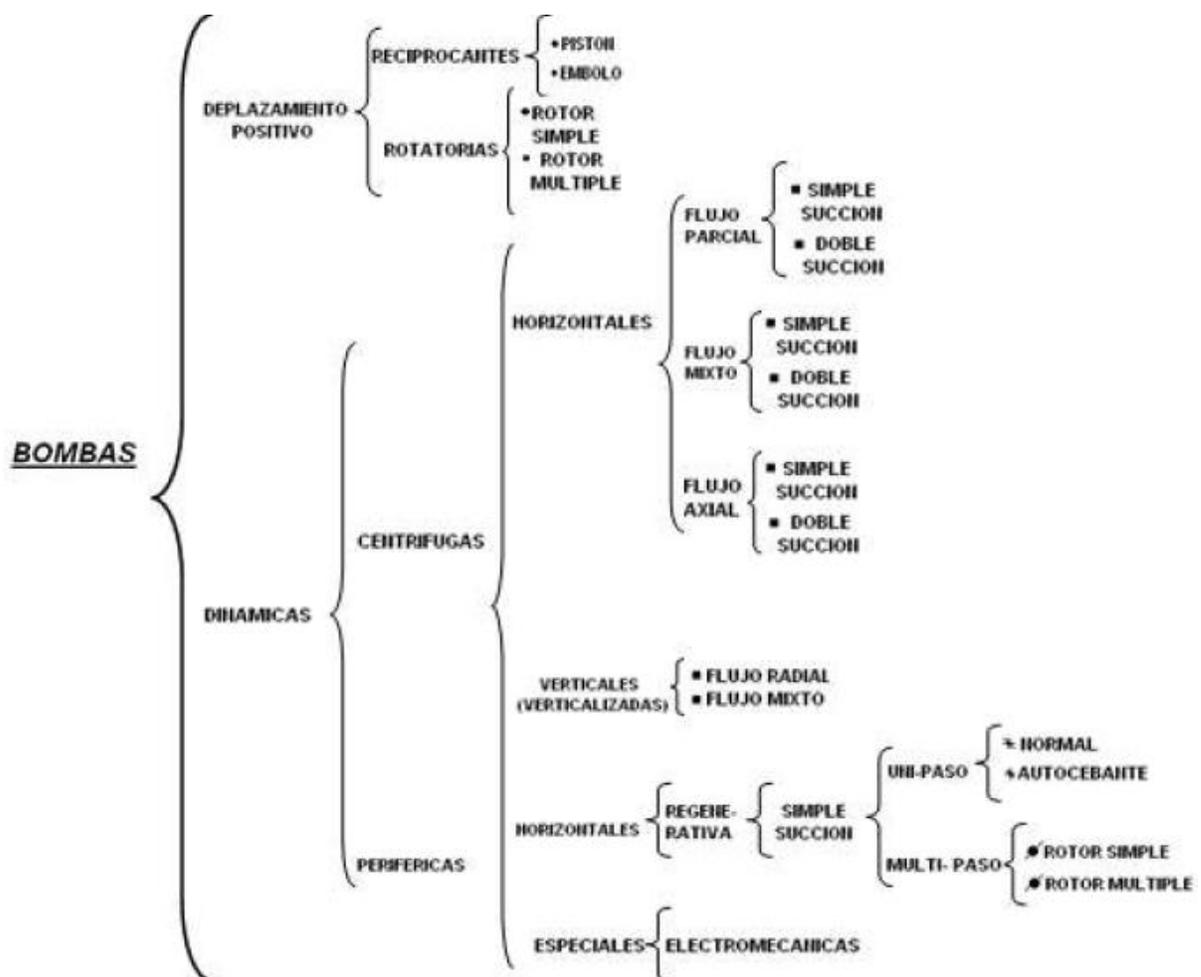
HP (motor) = 1,5 * HP (bomba) para motores monofásicos

5.5 Bombas eléctricas

Siempre que tratemos temas como procesos químicos, y de cualquier circulación de fluidos estamos, de alguna manera entrando en el tema de bombas. El funcionamiento en sí de la bomba será el de un convertidor de energía, o sea, transformara la energía mecánica en energía cinética, generando presión y velocidad en el fluido.

Existen muchos tipos de bombas para diferentes aplicaciones. Los factores más importantes que permiten escoger un sistema de bombeo adecuado son: presión ultima, presión de proceso, velocidad de bombeo, tipo de fluidos a bombear (la eficiencia de cada bomba varía según el tipo de fluido).

a) clasificación de bombas



5.6 Sistema de control hidroneumático

Los sistemas de control se utilizan para mantener relaciones adecuadas de aire-agua, presión y nivel de agua en el tanque presurizado. Controlan el arranque y paro de los equipos de bombeo. La bomba de llenado es controlada por un sensor que en general es un presóstato, presóstato que arranca la bomba cuando la presión de agua alcanza la presión mínima de operación; la bomba se detiene cuando la presión llega al valor máximo establecido.

También se puede considerar como elemento de control los interruptores de nivel en el tanque de succión, de manera que me condicione el trabajo de las bombas y las proteja cuando el nivel del líquido este bajo.

a) **Presóstato**

Conocido como interruptor de presión. Es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido.

El fluido ejerce una presión sobre un pistón interno haciendo que se mueva hasta que se unen dos contactos. Cuando la presión baja un resorte empuja el pistón en sentido contrario y los contactos se separan. Usualmente tienen dos ajustes independientes: la presión de encendido y la presión de apagado.

b) **Flotador eléctrico**

El flotador eléctrico tiene como función automatizar la bomba, evitando que ésta funcione cuando no sea necesario, y que el tinaco se desborde por el exceso de agua.

Al utilizar un flotador en el tinaco y otro en la cisterna, los flotadores permiten además de la automatización, una protección de su bomba, pues ésta solo se enciende cuando hay agua en la cisterna.

El flotador es un producto de plástico, sellado herméticamente conocido también como sensor o interruptor flotante de nivel, su diseño es muy práctico, al igual que su instalación, pues no requiere de mayores complicaciones para su colocación. En una sociedad en donde el agua potable es cada vez más escasa, el flotador eléctrico es un excelente producto para lograr un menor desperdicio de agua, y de energía eléctrica.

5.7 Tableros de control y potencia

Con la finalidad de controlar el sistemas de bombeo, se implementan tableros de control y potencia, el cual tiene un conjunto de elementos (contactores, relés, térmicos, gabinetes entre otros) que van acorde a las normativas referentes a instalaciones eléctricas.

Estos tableros son instalados para que proporcionen el correcto funcionamiento del equipo, desde su encendido, apagado, detección de altas y bajas tensiones, caídas de fases entre otros parámetros que puedan interferir con el funcionamiento correcto del sistema de bombeo, automatizados con el uso de un PLC programable.

1. Importancia de los elementos de protecciones

Las protecciones eléctricas son de vital importancia en los motores, generadores, transformadores, centros de control de motores, alimentadores de ramales Eléctricos, cables, y otros dispositivos empleados en las instalaciones eléctricas de cualquier empresa, industria o comercio.

Los motores, los generadores y los transformadores son unos de los tantos equipos eléctricos que deben de ser protegidos contra eventos no deseados como sobre corrientes o cortocircuitos, es allí donde las protecciones les corresponden actuar para evitar daños catastróficos en los mismos.

Por tal razón una instalación bien diseñada posee un buen sistema de protecciones eléctricas.

La protección es un seguro de vida que se compra para el sistema de potencia a un costo extremadamente bajo. Un proceso de protección puede resumirse en tres etapas como lo son:

- Lectura de corrientes y / o tensiones.
- Analizar si esos valores son o no perjudiciales al sistema.
- Si son perjudiciales, desconectar la parte de la falla en el menor tiempo posible.

Se logran resaltar fallas en los sistemas eléctricos como cortocircuito, sobrecarga, insuficiente capacidad de generación y sobre tensiones.

2. Requisitos para una protección

A continuación se definen conceptos importantes que se deben tener en cuenta al momento de dimensionar las protecciones eléctricas.

Confiabilidad: Ser capaz de actuar en cualquier momento que sea necesario, esto es, siempre que ocurra una falla o sobre corriente parasita en cualquier diseño.

La protección contra cortocircuito, por ejemplo debe discriminarse entre corrientes de sobrecargas y corriente de cortocircuito. Para obtener una buena confiabilidad, es fundamental realizar un adecuado mantenimiento preventivo, para ello, el aparato debe ser sencillo, facilitando de esta manera su revisión o cambio.

Rapidez: Actuar tan pronto como sea posible, un tiempo antes que las cantidades de fallas (voltajes o corrientes) hayan dañado o afectado el funcionamiento los aparatos a proteger en el circuito.

Selectividad: La protección de un sector debe actuar teniendo en cuenta que zona se quiere proteger, que porcentaje del circuito va estar censando y en caso de falla actué en el sector adecuado para facilitar el análisis de selectividad, esto se acostumbra para dividir el sistema en zonas.

3. Elementos de protecciones

a) Interruptores termomagnéticos

Se encargan de proteger los componentes internos en el tablero y fuera de él, como por ejemplo a los motores de las bombas cuando se presentan fallas de sobrecarga debido a que la intensidad consumida en un instante, supera la intensidad a la que está calibrada el dispositivo, o en el caso de un corto circuito en cualquier punto de la instalación.



b) Contactor

Es un dispositivo mecánico cuya misión es la de cerrar unos contactos, para permitir el paso de la corriente a través de ellos. Esto ocurre cuando la bobina del contactor recibe corriente eléctrica, comportándose como electroimán y atrayendo dichos contactos.

Estos dispositivos se usan frecuentemente para la automatización de procesos, entre otros el arranque de motores para sistemas de bombeo que requieren varios ciclos de encendido y apagado, siendo muy útil este dispositivo para tal fin.



Está compuesto por las siguientes partes:

- Contactos principales: 1-2, 3-4, 5-6. Tienen por finalidad abrir o cerrar el circuito de fuerza o potencia.
- Contactos auxiliares: 13-14 (NO). Se emplean en el circuito de mando o maniobras. Por este motivo soportarán menos intensidad que los principales. El contactor de la figura solo tiene uno que es normalmente abierto.
- Circuito electromagnético: Consta de tres partes.
 1. El núcleo, en forma de E. Parte fija.
 2. La bobina: A1-A2.
 3. La armadura. Parte móvil.

c) Relé térmico

El relé térmico es el elemento utilizado en automatismos para proteger los motores eléctricos contra sobrecargas y desequilibrios o faltas de fase.

El uso de automatismos permite realizar la protección de forma más eficaz y a la vez más económica.

Para ello, se hace uso de los relés térmicos. Puede ser térmico de sobreintensidad o térmico diferencial. (Pueden utilizarse tanto en corriente continua como alterna.)

d) Relé térmico de sobreintensidad

Estos relés son los más utilizados y protegen a los motores eléctricos contra las sobrecargas prolongadas. Basan su funcionamiento en la curvatura que experimenta un bimetetal como consecuencia del calentamiento. Sobre el bimetetal se arrolla un hilo calefactor conectado en serie con cada fase.



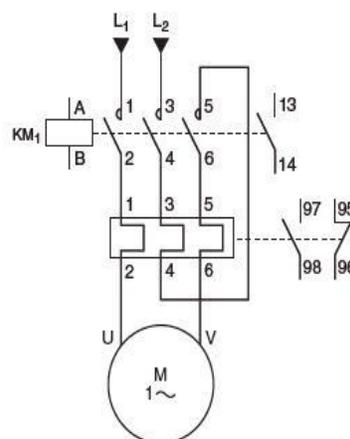
e) Relé térmico diferencial

Cuando, además de las sobrecargas, necesitamos proteger de forma eficaz el desequilibrio de fases (diferencia de valor de las intensidades de fases) o bien la falta de una de las fases, ya sea por falta de esta o porque haya fundido un fusible, recurrimos al relé térmico diferencial.



En esencia, es igual que el térmico, pero incorpora dos regletas en vez de una, cuyo movimiento solidario con los bimetales controla el desplazamiento.

El relé térmico diferencial no se debe utilizar en circuitos desequilibrados o circuitos trifásicos que alimenten receptores monofásicos, ya que el mismo circuito haría cortar al relé. (Para poder utilizarlo en un circuito monofásico bastaría con poner en serie dos bimetales).



f) Interruptor Magnético:

- Reaccionan ante sobreintensidades de alto valor (cortocircuitos).
- Desconexión por movimiento de un núcleo de hierro dentro de un campo magnético proporcional al valor de la intensidad que circula.

g) Guardamotor

- Función: disyuntor magneto-térmico para protección de motores eléctricos; dispositivo de arranque.
- Condiciones de funcionamiento: normales (corrientes de diseño) y sobrecargas de arranque.
- Accionamiento: automático
- Característica de disparo igual a un relé térmico, sensible a la falta de fase, con compensación de temperatura ambiente; disparo magnético ajustado para proteger al térmico.
- Dentro de ciertos límites reemplaza al conjunto **Contactor-Térmico-Protección falta de fase**.
- Inconveniente: no permite automatización (salvo junto a un contactor).



5.8 Dispositivos de arranque para motores

Existen básicamente 3 tipos de arranques a la hora de accionar un motor eléctrico.

A. Arranque directo.

Consiste en alimentar directamente los bornes del motor a pleno voltaje, eso si a través de los dispositivos de protección y accionamientos antes mencionados.

Generalmente este tipo de arranques es usado en motores de baja potencia debido a que si se usa en motores de potencias grandes se generan corrientes de arranques elevadas de alrededor de 3 a 15 veces la corriente nominal que pueden dañar el equipo y la red.

B. Arranque estrella-triángulo.

El objetivo principal es reducir las corrientes de arranque al momento de encender el motor, teniendo conectadas sus bobinas inicialmente en la configuración de estrella. Generalmente esta corriente se reduce 3 veces respecto a la corriente de arranque directo debido al tipo de conexión mencionado siendo de 1 a 5 veces la corriente nominal al arranque.

Luego de cierto tiempo, y mediante una configuración de contactores y relevos, se conectan los arrollamientos del motor en triángulo para que trabaje en sus parámetros nominales.

Aunque este arranque supone una ventaja, tiene el problema que cuando se hace el cambio de estrella a triángulo aparecen picos de corriente no deseados que pueden dañar el motor y la red.

C. Arranque suave

En un arranque suave un dispositivo (**soft starter**) reduce el exceso de corriente durante el encendido. Es un dispositivo de estado sólido de arranque encargado de regular la aceleración del motor partiendo de un voltaje reducido, haciendo

aumento progresivo hasta llegar a la tensión de trabajo permitiendo un arranque suave reduciendo el pico de corriente.

5.9 Tipos de Planos Eléctricos

La sistematización y clasificación de los planos eléctricos facilita el estudio y la diferenciación de los mismos.

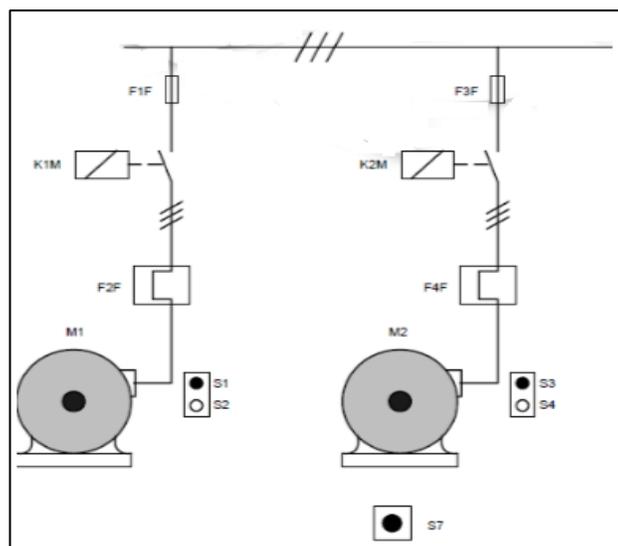
Por principio, los planos, los diagramas y los esquemas eléctricos se dibujan en estado de reposo. Esto significa que se dibujan sin tensión aplicada o bien sin que circule la corriente y las piezas mecánicas sin accionar

Tipos básicos de planos:

- Plano general.
- De funcionamiento.
- De circuitos.

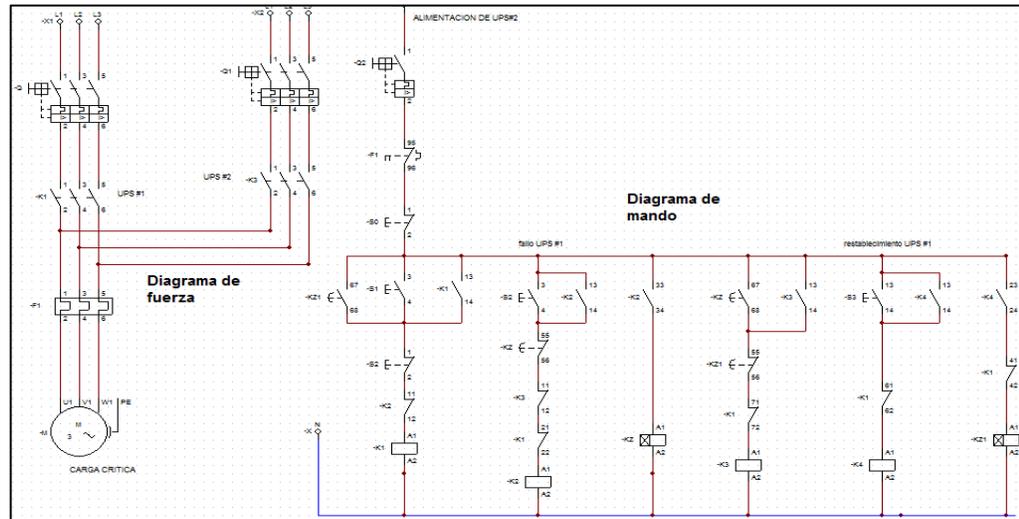
Plano general

Esta es la presentación más simple, por lo general unipolar o unifilar.



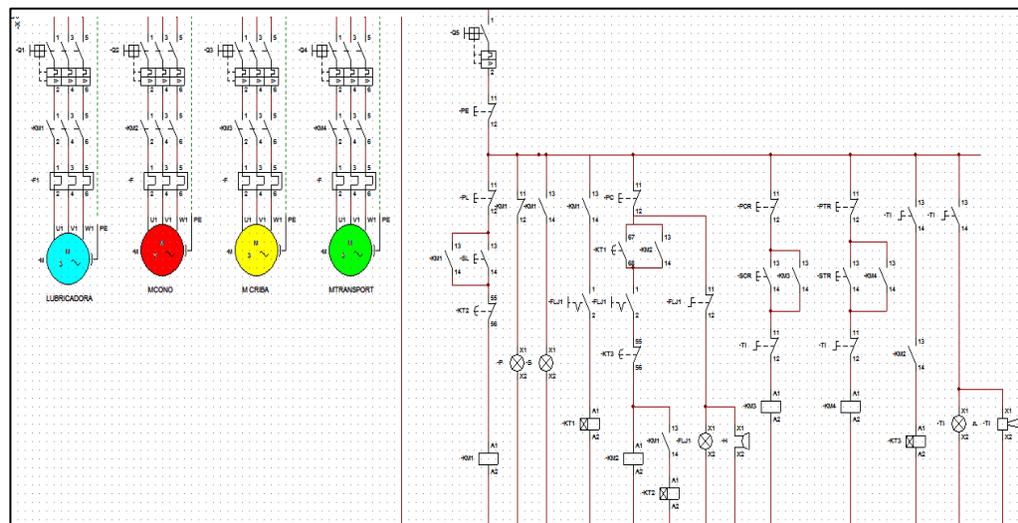
Plano de funcionamiento

Este plano es la presentación detallada en un solo plano de los circuitos principal y de mando de una conexión eléctrica.



Plano de circuitos

Este plano es el más usado actualmente en la electrotecnia para la presentación de una conexión. Se divide en circuito principal o de potencia y en circuito auxiliar o de mando (circuito de mando y señalización).



NOTA: El circuito de mando se dibuja a la derecha del diagrama de fuerza.

VI. Hipótesis y variable

En un sistema hidroneumático se debe tener dos o más bombas que permitan garantizar la continuidad del servicio cuando una de las bombas falla o requiere de mantenimiento preventivo

Variables

- Nivel del agua
- Capacidad para abastecer la red
- Presión

VII. Metodología de Trabajo

En esta metodología se hace una propuesta del sistema de control para el funcionamiento de un sistema hidroneumático de abastecimiento de agua utilizando alternancia de bombas eléctricas, para la finca el amanecer , así como las alternativas de solución para la implementación del nuevo sistema automatizado del control del mismo, criterios que se tienen que considerar para poder ser aplicados en el actual sistema por gravedad.

7.1 Recopilación de la información y trabajo de campo

El objetivo es identificar los aspectos que permiten medir cada proceso, recopilar y clasificar los datos que afectan el buen funcionamiento de la circulación de agua constante en el abastecimiento de la finca .

Algunos datos como el proceso de arranque de las bombas eléctricas, su alternancia ante un evento y los sistemas de seguridad o protección de la misma, velocidades del motor y control sobre el sistema.

7.2 Análisis de datos

Una vez que la información ha sido recopilada en los pasos anteriores del estudio, la información deberá ser capturada y ordenada para proceder a su análisis, datos como:

- Funcionamiento del actual mecanismo.
- Elementos de seguridad y protección
- Sistema del control actual

Con la finalidad de identificar las áreas de oportunidad para mejorar el proceso de circulación constante que ofrezca una mejor presión y disminución en el costo de la energía eléctrica.

7.3 Análisis de problemas potenciales

Identificar cualquier problema potencial de abastecimiento constante que permita disminuir fallas y darle la solución más adecuada para evitar posibles paradas de las bombas eléctricas.

Realizar un diagrama de flujos de procesos, que permita ver hacia dónde va el proceso, si está mejorando o empeorando

7.4 Búsqueda en el mercado local los equipos

De acuerdo a la teoría desarrollada y a las necesidades que presente la planta se necesita la búsqueda empresas distribuidoras de elementos de control y protección para la evaluación de las propuestas, en cuanto a los siguientes aspectos:

- Soporte técnico
- Capacidad de adquisición de variadores
- Instalación del equipo
- Capacitación del personal en manejo, operación
- Costo

7.5 Elaborar el informe del estudio para la implementación del sistema

El paso final es el de preparar un informe que contenga las observaciones y conclusiones de la propuesta del nuevo sistemas de control para el funcionamiento de un sistema hidroneumático de abastecimiento de agua utilizando alternancia de bombas eléctricas, haciendo énfasis en las oportunidades de la mejora de los procesos e incluso ahorro de energía.

VIII. Propuesta del Software para el diseño

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

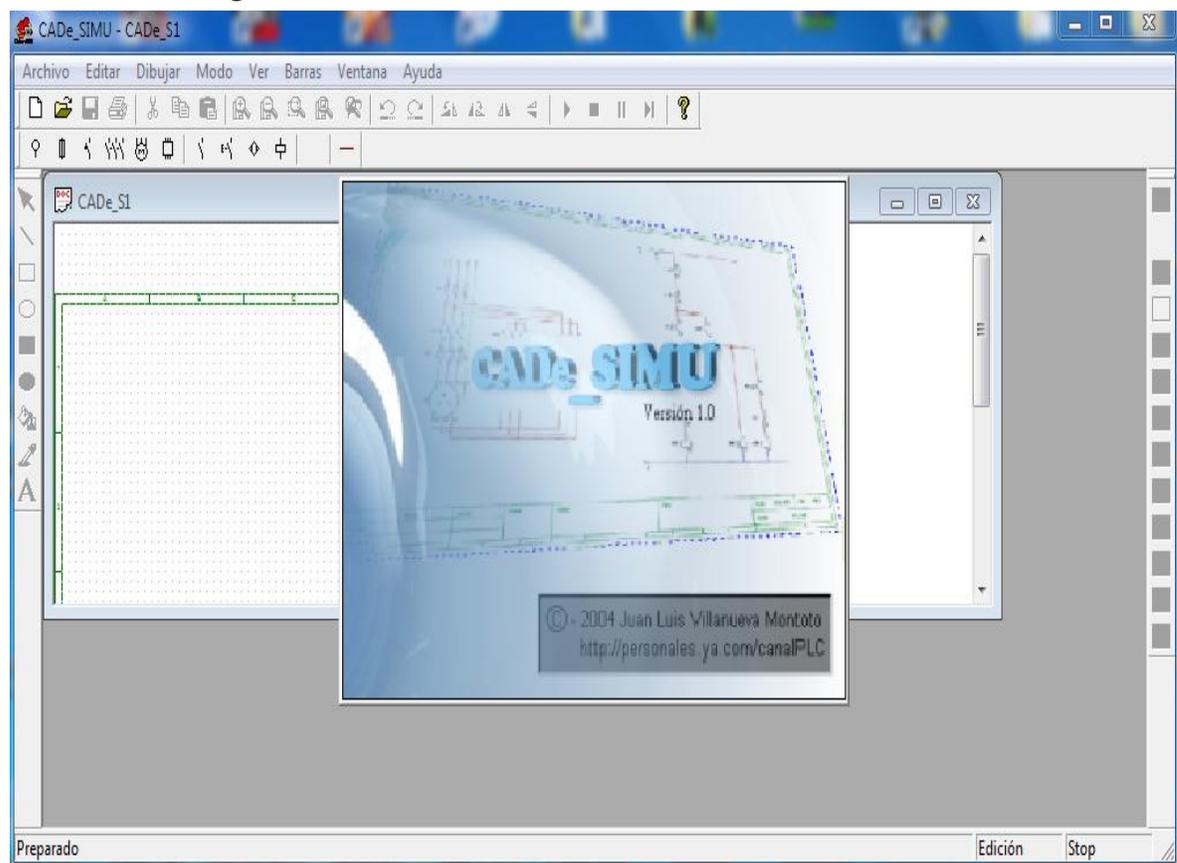
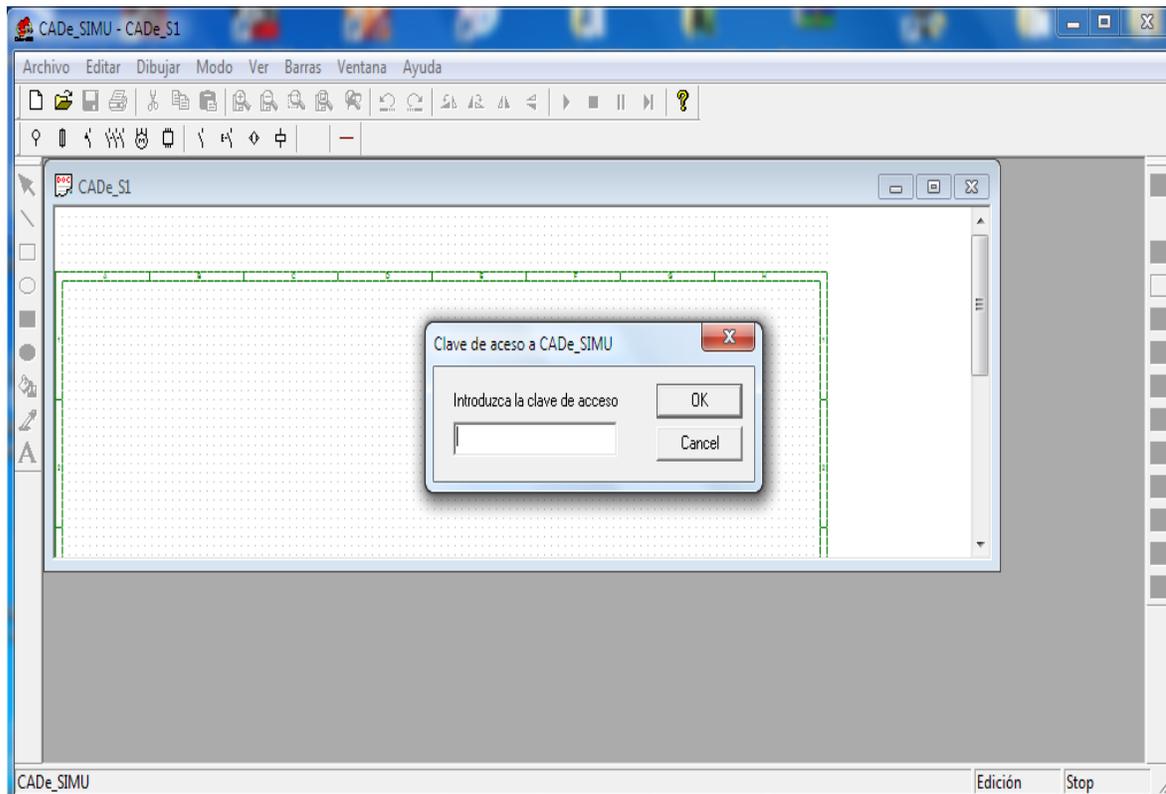
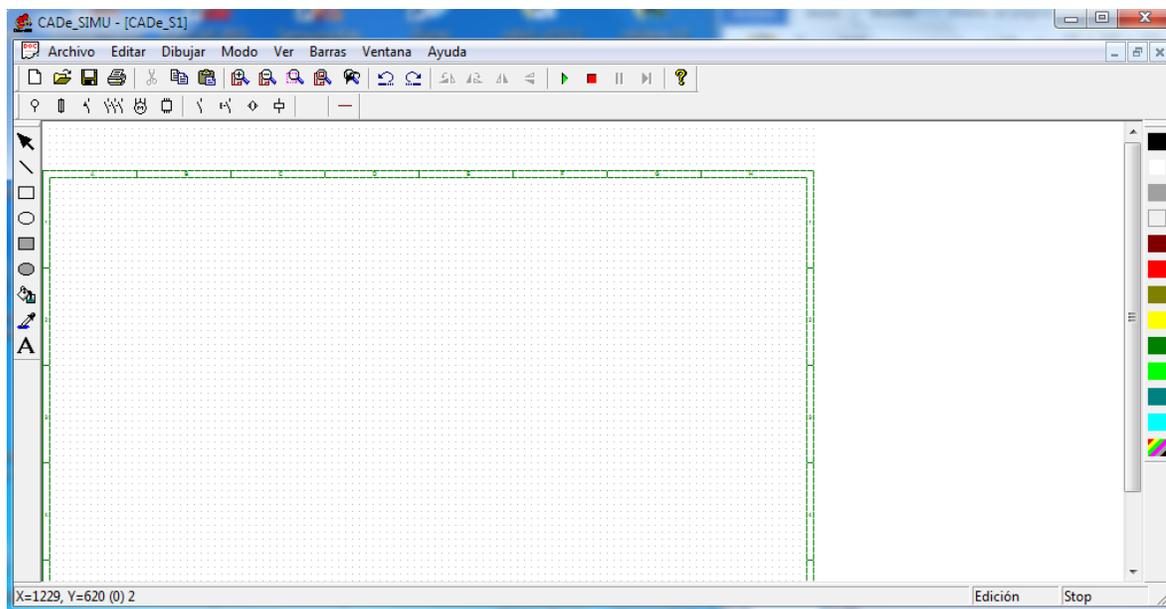


Figura 6 : Interfaz del programa CADE-SIMU

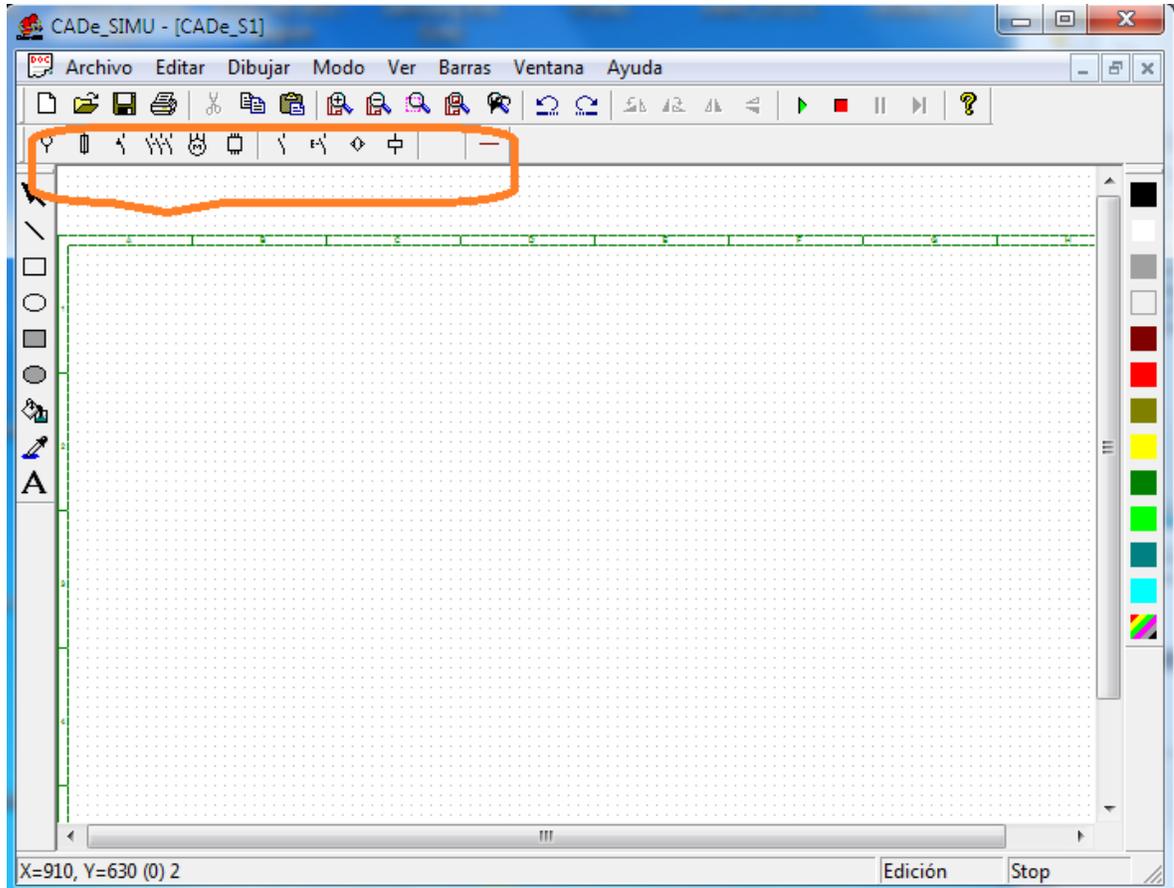
Inicio del programa , introducir clave 4962 (Importante si no introducimos clave no permitira guardar el programa diseñado.



Listo para editar o simular el automatismo electrico 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.



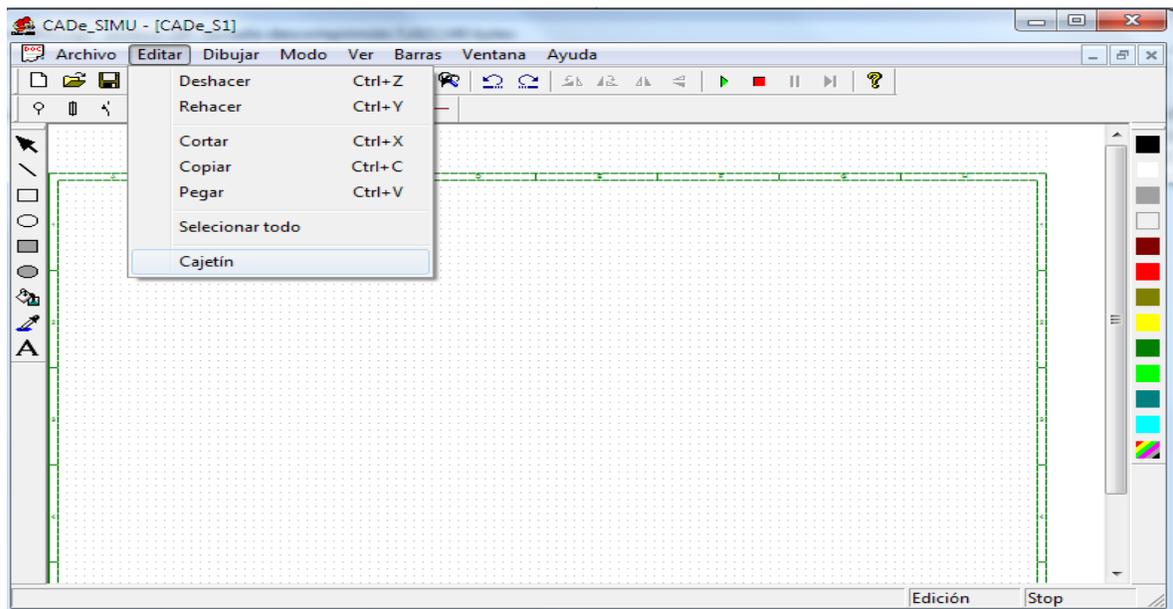
Las distintas categorías podemos verlas desplegadas en la página siguiente . pasando el cursor por encima del componente , nos aparecerá una descripción del mismo .

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

Simbolos de componenetes



En el menu de edicion podemos insertar los datos del esquema del cajetin.

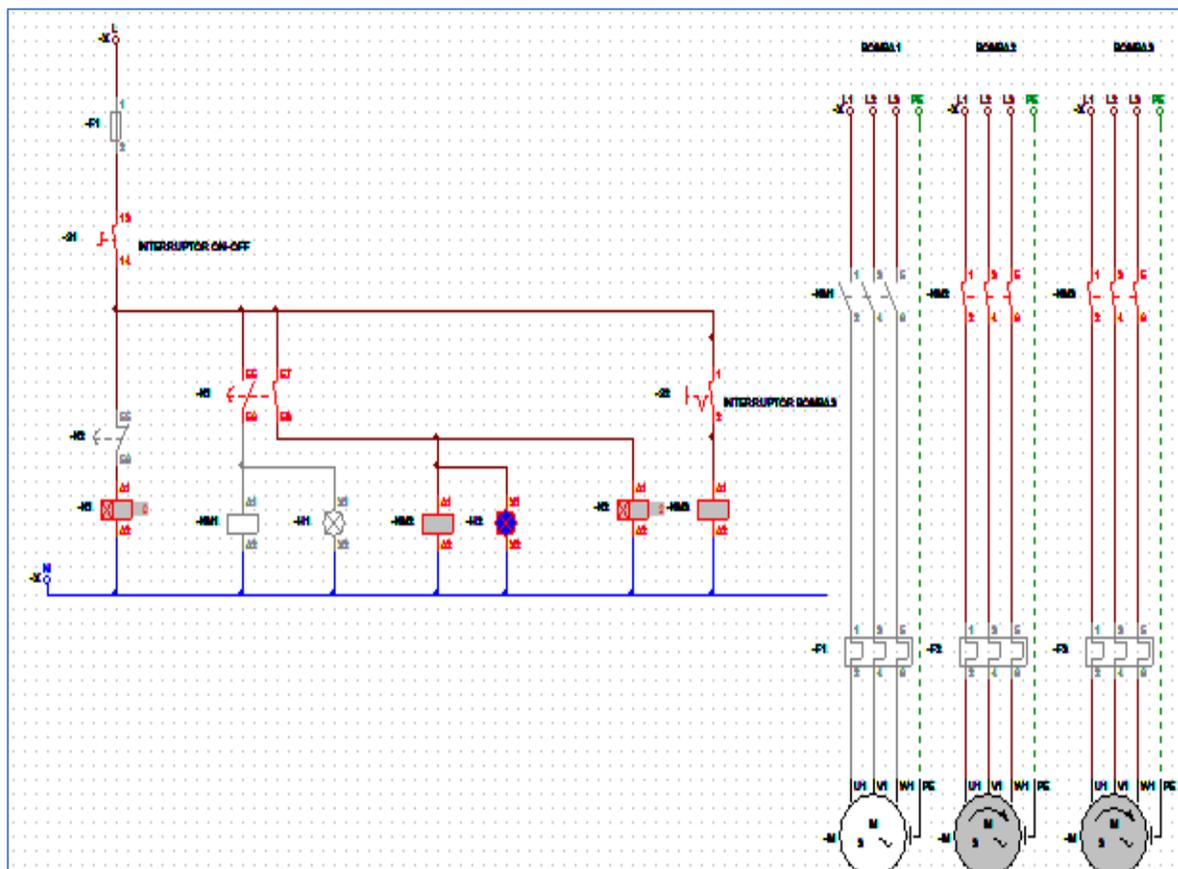


Este programa simula el funcionamiento de los esquemas , es necesario alimentar y conectar correctamente todos los componentes àra que la simulacion funcione de forma adecuada.

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

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

Ejemplo de un diseño electrico



IX. Alternativa de sistema Hidroneumático con razonamiento horario

En este apartado se muestra una alternativa más al sistema propuesto, el cual consiste en un Sistema hidroneumático con racionamiento horario y protección integral usando alternancia de dos bombas trifásicas.

Ya que estos sistemas hidroneumáticos son utilizados para impulsar agua a presión desde un tanque hasta los puntos del edificio donde es requerido el servicio.

Los elementos principales que conforman un sistema hidroneumático son:

- **Bombas:** Succionan el agua del tanque de almacenamiento y la impulsan hacia el tanque presurizado.
- **Tanque presurizado:** Dentro de éste hay un volumen de aire que el agua bombeada comprime hasta que la presión alcanza un nivel máximo preestablecido.
- **Compresor de aire:** Repone el volumen de aire que se escapa mezclado con el agua, evitando que el tanque pierda su capacidad de presurizar el sistema.
- **Presóstato:** Controla los niveles de presión del sistema.

Para garantizar el correcto funcionamiento de un sistema hidroneumático es necesario proteger cada una de sus partes

GOCT: Protección de la bomba contra fallas de corriente y voltaje

- Protege contra sobrecargas, sobre voltaje, bajo voltaje, desbalances, pérdida de fase y fase invertida.
- Protección por tercera falla de corriente.
- Permite visualizar los estados de operación y fallas en un computador, mediante protocolo MODBUS RTU (requiere adaptador GIO-Plug).



GFE-MV Control de la bomba de acuerdo al nivel de líquido

- Protege la bomba de operaciones indebidas en tareas de llenado y vaciado de tanques.
- Cuenta con tres cables con contactos SPDT: un cable común, un cable para apagado en nivel máximo y un cable para apagado en nivel mínimo, de acuerdo a la aplicación a implementar.



GSM-L: Protección del motor del compresor de aire

- Protección contra sobre voltaje y bajo voltaje.
- Ciclo de espera luego de una falla: 3 minutos.
- Compacto y fácil de instalar.
- Permite el manejo de cargas por medio de contactor. También permite el manejo directo de equipos hasta 1 HP.



GRN-MV: funcionamiento del compresor de acuerdo al nivel de líquido en el tanque presurizado.

- Sensibilidad ajustable mediante perilla.
- Multivoltaje: 120/220 V~
- Indicadores luminosos: alimentación y salida de control activada.
- Compacto y fácil de instalar.



GRA-MV Control del funcionamiento del compresor de acuerdo al nivel de líquido en el tanque presurizado.

- Multivoltaje: 120/220 V~.
- Cada vez que el dispositivo detecta un cambio de cerrado a abierto entre sus entradas 3 y 2, genera una actuación sobre contactos de su etapa de salida, cambiando su posición.
- Compacto y fácil de instalar.



los

GTC-B1C Racionamiento horario

- Para incorporar la funcionalidad de racionamiento de acuerdo a un horario previamente establecido.
- Cuenta con pantalla LCD y teclado que facilitan la programación de los eventos. Se pueden programar hasta 20 eventos: 10 encendidos y 10 apagados.



Descripción del funcionamiento

Por medio del interruptor de racionamiento, el usuario selecciona de forma manual el modo de funcionamiento del sistema. Si el usuario activa el racionamiento, se enciende una luz indicadora (racionamiento funcionando) y el sistema funcionará solamente en las horas establecidas en el programador horario GTC-B1C. Si el usuario desactiva el racionamiento, se apaga la luz indicadora y el programador horario deja de tener influencia en el funcionamiento del sistema.

Si se presenta alguna falla de voltaje o corriente en la alimentación de alguna de las dos bombas, el respectivo relé GOCT desconectará el equipo e indicará que hay una falla por medio del encendido de una alarma (alarma bomba 1 o alarma bomba 2).

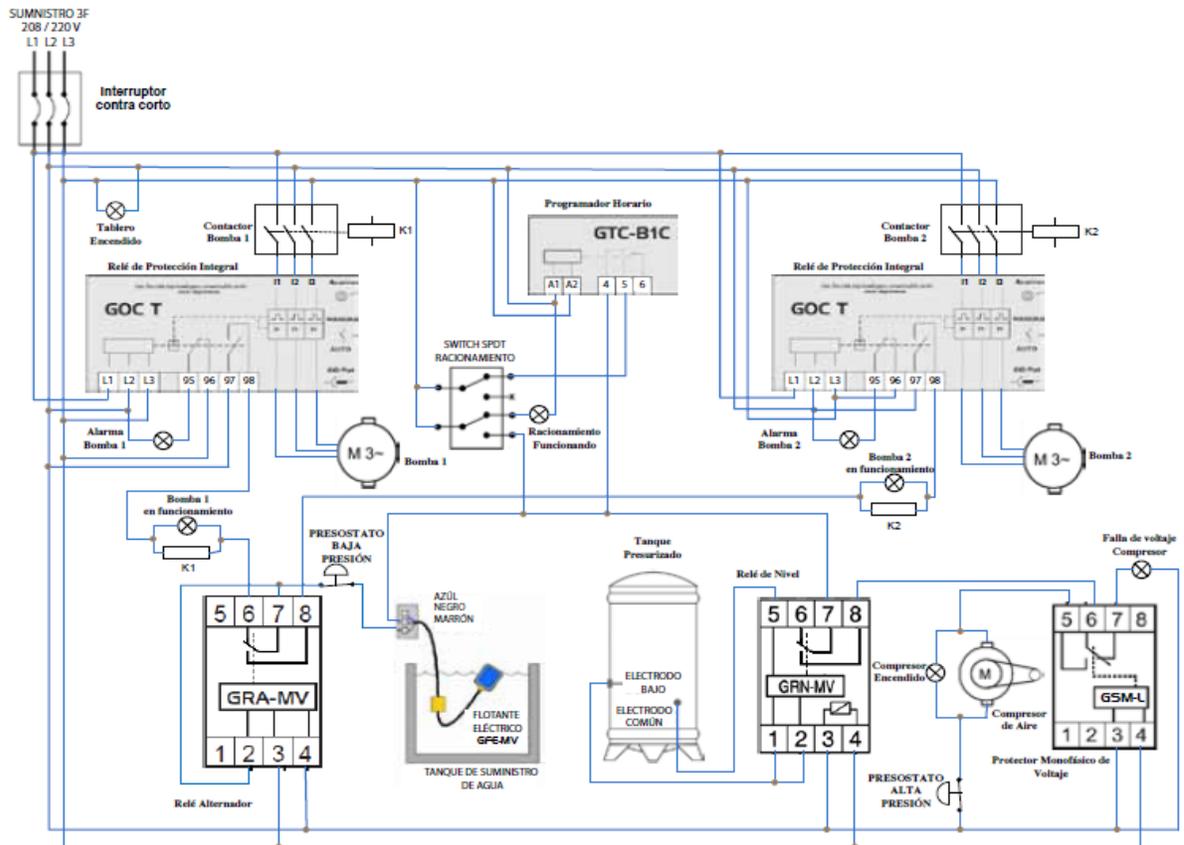
Si no hay ninguna falla en el suministro eléctrico de las bombas, cada relé GOCT conectará sus contactos 97 y 98, alimentando uno de los terminales de la bobina de su respectivo contactor.

De acuerdo a la señal de control del presóstato que está monitoreando el nivel de presión del tanque presurizado, se activarán de forma alternada la bomba 1 y la bomba 2, encendiendo sus respectivos indicadores de funcionamiento, siempre y cuando haya agua en el tanque de suministro (flotante hacia arriba).

Por otra parte, cuando el nivel de agua dentro del tanque presurizado alcance el electrodo de nivel alto, se activa la salida del relé de nivel GRN-MV, permitiendo el arranque del compresor de aire siempre que los niveles de voltaje sean los adecuados. Caso contrario, el protector GSM-L interrumpirá la alimentación del compresor y se encenderá una luz indicadora de falla de voltaje.

Diagrama de conexiones con esta alternativa

En el esquema mostrado a continuación, se presenta una aplicación para el control y protección integral de un sistema hidroneumático usando alternancia de dos bombas trifásicas con racionamiento horario.



X. Algunos requisitos para la selección de bombas

Para realizar eficientemente un proceso de selección y cotización de una bomba es necesario indicar en las especificaciones técnicas los siguientes elementos:

➤ **Marca**

La marca de la bomba y el tanque hidroneumático, es un aspecto muy importante de seleccionar ya que rige la calidad del equipo y la disposición de repuestos en el mercado.

➤ **Modelo**

El modelo será esencial para la adquisición de repuestos o el reemplazo de la bomba. Cuando se reemplaza la bomba es posible que el motor se encuentre en buen estado y no necesite reemplazo por lo que se requiere que la bomba que se pueda acoplar con el motor que está en buen estado.

➤ **Diámetro de succión**

Algunas bombas se instalan con reductor excéntrico en el lado de succión, por lo que se debe verificar que el diámetro de succión sea compatible con el diámetro de la tubería instalada.

➤ **Diámetro de descarga**

Indica el diámetro que debe tener la bomba en el lado de descarga, para que sea compatible con la tubería que se ha instalado. En algunos casos será necesaria la instalación de bridas para la conexión con la tubería de descarga.

➤ **Capacidad**

Se refiere al caudal que puede entregar la bomba, indicado en metros cúbicos por minuto o en galones por minuto (GPM); este dato se hace esencial para cumplir con los requisitos de caudal de la instalación.

➤ **Capacidad del tanque hidroneumático**

Es la cantidad de agua a suministrar en la red entre la presión máxima y la presión mínima. Expresado en galones. Las capacidades disponibles en tanques hidroneumáticos se encuentran relacionadas a las marcas de los mismos. En tanques hidroneumáticos dispone de capacidades de: 19, 20, 30, 35, 40, 47, 50, 62, 85, 87, 119 y 120 galones.

➤ **Potencia**

Es medida en caballos de fuerza y sirve para seleccionar la capacidad del motor, ya sea eléctrico o de combustión interna, así como para estimar el consumo eléctrico o de combustible según sea el caso.

➤ **Cabeza de bomba**

La energía proporcionada por una bomba a un sistema, se expresa como la cabeza equivalente del líquido que está siendo bombeado y se conoce como la cabeza total de la bomba. Está se mide en metros, o pies y sirve para determinar la capacidad de carga de la bomba.

➤ **Eficiencia del motor eléctrico**

El consumo eléctrico es un factor importante para la selección del motor. Se debe de verificar el consumo en amperios que tengan distinta casa comercial para motores de la misma potencia. Un motor en apariencia barato puede usar alambre de mala calidad en sus devanados, por lo que es importante analizar cuál será el consumo en operación que tendrán los motores.

➤ **Garantía**

Es la garantía que el proveedor extiende de acuerdo al tipo de servicio para el que se requiere a la bomba, también depende del valor del equipo y la calidad de sus elementos y/o componentes.

10.1 Selección de equipo

Para realizar un proceso de selección calificado es necesario poseer un ejemplo como guía, en el cual se logren minimizar los márgenes de error al momento de clasificar el equipo que más se adapte a las necesidades tanto físicas como económicas.

En la mayoría de casos las bombas hidroneumáticas son mayormente instaladas para uso residencial, no obstante en ningún momento se descarta la utilización de esta clase de equipo con finalidad industrial. Siendo los industriales, de uso muy variable y algunas veces tan prolongado como los residenciales.

a) Ejemplo para la Selección

El planteado para uso residencial es el siguiente: se tiene un edificio de cinco (5) pisos, en cada piso existen cuatro (4) apartamentos, en cada apartamento hay dos (2) dormitorios, se requiere seleccionar la bomba hidroneumática más adecuada para posteriormente instalar en dicho edificio, se tiene como datos los siguientes:

- La altura estática (h) es de 20 metros.
- Los tubos son de acero cédula 40, por donde circula agua limpia, tomada de un tanque bajo.
- La tubería de succión tiene 3 metros de longitud y un diámetro de 1. pulgada equipada con 1 codo radio largo y 1 válvula de pie.
- La tubería de descarga tiene 55 metros de longitud y un diámetro de 1 pulgada (en caso de ignorar el diámetro de la tubería, se explicará su cálculo), contiene 6 codos de 90 grados de radio corto, 5 te roscadas, 2 válvulas de compuerta, 1 válvula check roscada.

➤ **Capacidad de la bomba**

Determinar la capacidad de la bomba, es estimar la cantidad de caudal necesario, estipulando con anterioridad el propósito del equipo, ya sea doméstico, industrial comercial, público y contra incendio.

También es importante conocer el consumo promedio diario y el máximo probable de agua de una red.

Para definir el consumo de agua, los métodos principales, comúnmente utilizados son: método de dotaciones, método del número total de piezas servidas y el método de Hunter.

➤ **Determinación de la demanda (caudal)**

Para la determinación de la demanda existen 3 métodos importantes, siendo el más fácil y simple de utilizar el método de dotaciones.

Para este caso se tiene como dato de entrada el número de habitaciones de cada unidad de vivienda $N = 2$, estimando que en cada habitación convivan 2 personas como máximo, siendo una dotación de 250 – 300 litros/habitante/ día según uso de tabla. El cálculo de la demanda para esta vivienda sería:

2 personas * 100 litros/habitante/ día * 2 habitaciones = 400 Litros/día, por apartamento. 4 apartamentos * 400 litros/día/apartamento * 5 pisos = 8 000 litros/día. El coeficiente K en este caso sería de 10 ya que el consumo es menor de 50 000 litros/día.

Según la fórmula del método de dotaciones sería:

$$Q_d = \frac{(\text{Dotación}) * (K)}{86\ 400} = \text{LPS}$$

$$Q_d = 12\ 000 * (10) / 86\ 400 = 0.926 \text{ l/s}$$

$$1,3888 \text{ litros/segundo} = 83,328 \text{ litros/min} = 22,012, \text{ Gal/min} = 0.9259 \text{ m}^3/\text{segundo}$$

➤ **Cálculo de la carga total de la bomba (H)**

Para calcular la altura total de la bomba, es necesario conocer todos los obstáculos en la red hidráulica, es por ello que se debe de dominar todas las pérdidas por fricción en la tubería, tanto en succión como en descarga.

➤ **Cálculo de las pérdidas totales en la succión (h_{fs})**

Como parte fundamental para el cálculo de la altura total de bombeo, es necesario el cálculo de las pérdidas en la tubería de succión. Para este cálculo se necesitan los siguientes datos:

- Diámetro nominal de la tubería de succión = 1. Pulgadas.
- Tubería de acero cédula 40
- Longitud de la tubería de succión (L_s) = 3m = 9,84 pies
- Número y tipo de accesorio en la tubería de succión = 1 codo radio largo y 1 válvula de pie.

Se procede a calcular las pérdidas en tramos de tubería recta (h_f) con la ayuda de la ecuación de Hazen Williams.

$$h_f = \frac{10,643 * Q^{1,85} * L (m)}{C^{1,85} * D^{4,87}}$$

$$h_{fs} = \frac{10,643 * (0,000926 \text{ m}^3/\text{s})^{1,85} * (3 \text{ m})}{(125)^{1,85} * (0,0381 \text{ m})^{4,87}} = 0,08395 \text{ m}$$

Ahora se procede a calcular las pérdidas por fricción en accesorios con ayuda de tabla.

Como son un codo de radio largo y una válvula de pie ambos de diámetro de 1 entonces la longitud equivalente (L_e) es: 0,9 metros y 11,6 metros respectivamente.

Luego se calcula la longitud total equivalente de succión (h_{ts}), $h_{ts} = (\text{pérdida en tubería recta } h_{fs}) + (\text{pérdidas en accesorios } h_l)$

Longitud equivalente de succión (h_{ts}) = 0,08395 m + 12,5 m = 12,584 m

➤ Cálculo de las pérdidas totales en la descarga

Siendo prácticamente toda la red hidráulica la tubería de descarga, es necesario conocer las pérdidas en dicho tramo, en tubería recta y accesorios.

Para este cálculo se necesitan los siguientes datos:

- Diámetro nominal de la tubería de descarga = 1
- Tubería de acero cédula 40
- Longitud de la tubería de descarga (L_d) = 55 m
- Número y tipo de accesorios en la tubería de descarga = 6 codos 90° radio corto, 8 te, 2 válvulas de compuerta, 1 válvula check.

Se procede a calcular las pérdidas en tramos de tubería recta (h_f), con ayuda de la ecuación de Hazen Williams, por lo tanto:

$$h_{fd} = \frac{10,643 * (0,000926 \text{ m}^3/\text{s})^{1,85} * (55 \text{ m})}{(125)^{1,85} * (0,0254 \text{ m})^{4,87}} = 11,087 \text{ m}$$

Ahora se procede a calcular las pérdidas por fricción en accesorios con ayuda de tabla. A continuación se muestran los valores de longitud equivalente (L_e), para cada accesorio de la tubería de descarga:

- Codo de 900 radio corto $L_e = 0,8 \text{ m} * 6 \text{ codos} = 4,8 \text{ m}$
- Tee roscada $L_e = 0,5 \text{ m} * 5 \text{ Tee} = 2,5 \text{ m}$
- Válvula de compuerta $L_e = 0,2 \text{ m} * 2 \text{ válvulas de compuerta} = 0,4 \text{ m}$
- Válvula de *check* $L_e = 2,1 \text{ m}$

Luego se calcula la longitud total equivalente de descarga (L_d).

$L_d = (\text{pérdida en tubería recta } h_{fd}) + (\text{pérdidas en accesorios } h_l)$

$L_d = 11,087 \text{ m} + 4,8 \text{ m} + 2,5 \text{ m} + 0,4 \text{ m} + 2,1 \text{ m}$

Longitud equivalente de descarga (L_d) = 20,887 m

➤ Cálculo del diámetro de descarga

Existen casos en los cuales el diámetro de la tubería de descarga se desconoce, en cuanto a la tubería de succión de la bomba va ligado a la misma, ya que no es recomendable modificar dicho diámetro.

Para la determinación del diámetro de la tubería se procede a utilizar la ecuación del inciso 2.2.1.1, y la tabla IV.

Para este cálculo se necesitan los siguientes datos:

- Caudal m^3/s
- Velocidad del agua en la tubería m/s ; según tabla

$$D = \sqrt{\frac{4 * (0,000926 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi * (2 \text{ m}/\text{s})}} = 0,0243 \text{ m}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$$

En este caso la ecuación dio como resultado un diámetro de 0,0243 metros siendo aproximadamente 1 pulgada.

➤ **Cálculo de la energía cinética o presión dinámica**

Es el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa determinada, desde el reposo hasta la velocidad indicada. Para calcular este término se usará la siguiente ecuación:

$$E_c = V^2 / 2 * g$$

Donde la velocidad en la descarga (V), se obtendrá a partir de la tabla IV, o en su efecto, a partir de la ecuación para determinar el diámetro.

$$V = 4 * Q / \pi D^2$$

Dónde:

D = Diámetro de la tubería

Q = Caudal del fluido

V = Velocidad del fluido

$\pi = \text{pi} = 3,14159265$

$$V = \frac{4 * 0,000926 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * (0,0254 \text{ m})^2} = 1,83 \text{ m/s}$$

Ahora se sustituye el valor de la velocidad de descarga en la ecuación de la energía cinética o presión dinámica.

$$E_c = \frac{(1,83 \text{ m}^2/\text{s})^2}{2 * (9,81 \text{ m}^2/\text{s})} = 0,171 \text{ m}$$

➤ **Presión residual**

La presión residual es considerada hidráulicamente como el punto más desfavorable en la instalación, como es una instalación residencial existe la posibilidad de la instalación de un calentador. En este caso la presión residual es de 3 metros de columna de agua.

➤ **Cálculo de CDT (Carga Dinámica Total de bombeo)**

Luego de haber realizado los pasos anteriores se procede al cálculo de la carga total de la bomba, la cual se determina mediante la siguiente ecuación:

$$CDT = h + \sum hf + \frac{V^2}{2 \cdot g} + h_r$$

Sustituyendo:

$$CDT = 20 \text{ m} + 12,584 \text{ m} + 20,887 \text{ m} + 0,171 \text{ m} + 3 \text{ m} = 56,642 \text{ m}$$

➤ **Cálculo de la potencia requerida por la bomba**

Representa la potencia requerida por la bomba. Para calcular la potencia del motor se usará la ecuación del inciso 2.5.2, el caudal y la Carga Dinámica Total (CDT), por lo tanto:

$$Pot = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_T}{75 \cdot \frac{\eta}{100}}$$

Sustituyendo:

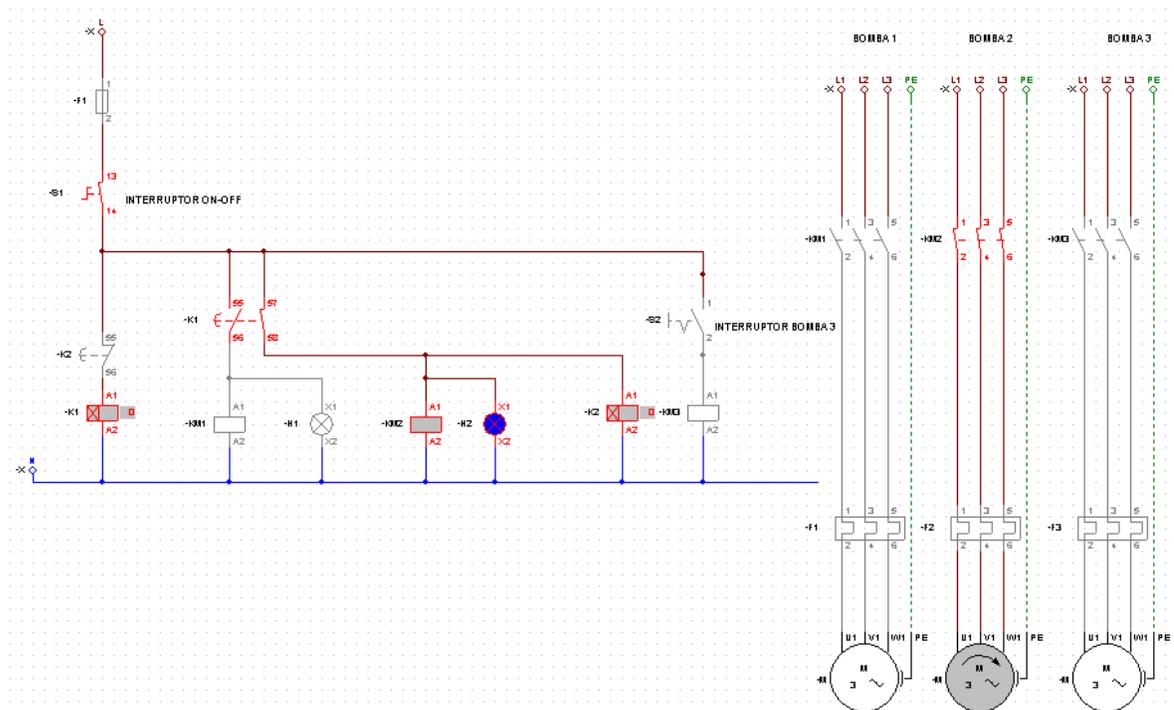
$$Pot = \frac{(1,000 \text{ kg/m}^3)(0,000926 \text{ m}^3/\text{s}) \cdot (56,642 \text{ m})}{75 \cdot 0,40} = 1,75 \text{ CV} = 1,72 \text{ HP}$$

Como el resultado fue de 1,72 caballos de fuerza, la bomba a seleccionar debe de ser como mínimo de 2 caballos de fuerza.

XI. Propuesta del sistema hidroneumático

La gran mayoría de los Sistemas hidroneumáticos, poseen bombas para el llenado de un tanque. Tener dos bombas permite garantizar la continuidad del servicio cuando una de las bombas falla o requiere de mantenimiento preventivo. Para dosificar el gato de las bombas y prolongar su vida útil, se requiere operarlas en forma alternada. En este contexto de proponer el uso de 3 bombas, dos actúan de manera alterna y una tercera bomba en caso de mantenimiento de las bombas principales

Diagrama de conexiones propuesto



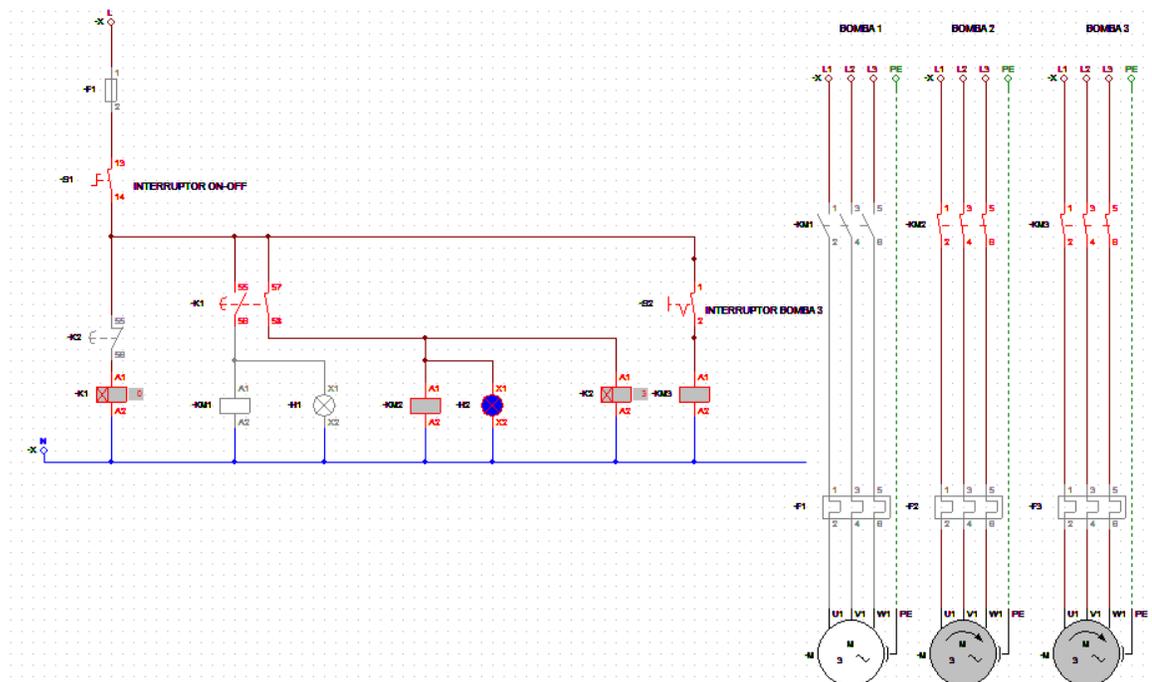
En este caso de sacar de servicio las dos bombas, se controlará a la otra pasándola a posición manual (sin alternabilidad) sin requerir recableado del panel de control. Igualmente, permite que las dos bombas se activen simultáneamente cuando el tanque llega a un nivel crítico.

Además el sistema propone el uso incluye DOS TEMPORIZACIONES; Un primer retardo de 20 segundos en el encendido y cada vez que se abre el contacto del flotante del tanque principal para obtener:

- a) Protección de las bombas contra fallas intermitentes del suministro eléctrico.
- b) Protección contra el flujo inverso de una columna de agua a través de la bomba cuando ésta se apaga.
- c) Protección de la bomba contra operación en falso.

El segundo retardo de 0,5 segundos ocurre después que se abre el contacto que produce la alternancia (F2). Así se protege a la bomba contra incendios intermitentes cuando el contacto del flotante abre y cierra por efecto de rebotes del contacto.

Diagrama de conexión de las tres bombas del sistema propuesto



La gran mayoría de los Sistemas hidroneumáticos, poseen bombas para el llenado de un tanque. Tener dos o más bombas permiten garantizar la continuidad del servicio cuando una de las bombas falla o requiere de mantenimiento preventivo. Para dosificar el gasto de las bombas y prolongar su vida útil, se requiere operarlas en forma alternada.

La alternancia de bombas puede ser de acuerdo a:

- Una secuencia de arranque de las bombas uno tras la otra
- Al tiempo de funcionamiento de cada bomba
- Al requerimiento del usuario etc.

Se requiere lo siguiente:

- Mejor conservación de los equipos.
- Aumento de la calidad y de la productividad.
- Disminución de paralizaciones imprevistas.
- Disminución de reparaciones.
- Reducción de costos e
- Incremento de la vida útil de sus equipos.

XII. Conclusiones

En la elaboración de la propuesta diseño de control de un sistema hidroneumático a presión constante, se consideró un sistema de respaldo en el diseño presentado, además se realizó un ejemplo en cuanto respecta a la selección y cálculo de un sistema hidroneumático para la distribución de agua potable.

Además se analizaron aspectos de carácter teórico y práctico, de esta manera pudieron ser aplicadas cuestiones que dejaban entre ver la falta de diseño de una red de distribución hidráulica.

También se logró describir el funcionamiento y los elementos principales de un sistema hidroneumático y sus tipos de bombas.

Se presentó un panorama del software CADE_Simu utilizado para propuesta de diseño de control del sistema hidroneumático a presión constante.

Como punto final se elaboraron los diagramas eléctricos de mando y fuerza para el nuevo sistema hidroneumático.

Se permitió presentar una alternativa y mejora de los elementos de control y protección de los sistemas eléctricos automatizados en los sistemas con alternancias de bombas eléctricas.

XIII. Bibliografía

- SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS DE CENTROAMÉRICA. Manual de Procedimiento para el Cálculo y Selección de Sistemas Hidroneumáticos y de Bombeo. México: 1998. 201 p.
- KARASSIK Igor; CARTER, Roy. Bombas Centrifugas, selección, operación y mantenimiento. México: Continental, 1967. 560 p.
- Principios básicos para el diseño de instalaciones de bombas centrífugas [en línea]: <<http://www.comagro.com.py>> [Consulta: 23 de octubre de 2017].
- Chapman, Stephen J. Máquinas Eléctricas. McGraw-Hill. 2005. Pág 382, 389, 452, 458.
- WEG, Equipamientos Eléctricos S.A. División WEG COLOMBIA LTDA, arrancadores suaves manual en español, texto web, [Consulta: 22-10-2017], [en línea], Bogotá, Colombia, www.weg.net/co. <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-automatizacion-arrancadores-suaves-50024195-catálogo-espanol.pdf>>.
- MENAUGHTON, Kenneth. Bombas: Selección y Mantenimiento. 1ra. Ed. México: McGraw – Hill, 1990. 710 p.
- ROLDÁN VILORIA José. Motores Eléctricos Automatismos de Control. Editorial Paraninfo. Madrid. 1989.
- GARCIA SOSA, Jorge, “INSTALACIONES HIDRAULICAS Y SANITARIAS EN EDIFICIOS”, Texto web, capítulo 3 numeral 3.4 SISTEMAS HIDRONEUMATICOS, [Citado el 13 de octubre de 2017], [en línea], fundación ICA, Ciudad de México, <<http://es.slideshare.net/djacky2202/instalaciones-hidraulicas-y-sanitarias-en-edificios>>.