

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UN TABLERO ELÉCTRICO DE CONTROL Y POTENCIA PARA SISTEMA DE PRESIÓN CONSTANTE DE 3 BOMBAS IGUALES DE 25HP EN 220V

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Rodríguez H., Frank D.
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2011

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UN TABLERO ELÉCTRICO DE CONTROL Y POTENCIA PARA SISTEMA DE PRESIÓN CONSTANTE DE 3 BOMBAS IGUALES DE 25HP EN 220V

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Pedro Pinto

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Rodríguez H., Frank D.
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2011

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 21 de noviembre de 2011

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Frank Rodríguez:

**“DISEÑO DE UN TABLERO ELÉCTRICO DE CONTROL Y POTENCIA
PARA SISTEMA DE PRESIÓN CONSTANTE DE 3 BOMBAS IGUALES DE
25HP EN 220V”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Electrónica y Control, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Servando Álvarez
Jurado


Prof. Julián Pérez
Jurado


Prof. Pedro Pinto
Tutor Académico

DEDICATORIA

**A Mamá,
Ana,
Carlos,
Ana María y
Mis hermanos:
Luis, Willians,
Sandy, Luisa y
América.**

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

Al profesor Pedro Pinto por su orientación y estímulo y las valiosas observaciones de forma y de fondo que permitieron desarrollar, estructurar y culminar este trabajo.

A los profesores del área de electrónica de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central de Venezuela.

A Ana por siempre estar pendiente, por todo el apoyo y dedicación, por todo el estímulo que durante todo este tiempo de gran esfuerzo supo darme.

A Carlos por toda su paciencia, consideración y gran apoyo.

A Ana María por toda su paciencia y comprensión.

A Cristina por estar pendiente y darme el estímulo necesario siendo ejemplo de constancia.

A la empresa Hidrosistemas Caribe, C.A. y a todo su personal.

A todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron para alcanzar esta meta.

Rodríguez H., Frank D.

**DISEÑO DE UN TABLERO ELÉCTRICO DE CONTROL Y
POTENCIA PARA SISTEMA DE PRESIÓN CONSTANTE DE 3
BOMBAS IGUALES DE 25HP EN 220V**

**Prof. Tutor: Ing. Pedro Pinto. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería.
Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Electrónica.
UC.V. Trabajo de Grado. 2011. 47 h. + anexos.**

Palabras Claves: Tablero de control y potencia, Presión constante, componentes eléctricos.

Resumen. Se plantea el diseño de un tablero de control y potencia para sistema de presión constante. En él se detalla el análisis por medio del cual se determinan cada uno de sus componentes principales: breakers, contactores y relés térmicos de protección. Además, también se selecciona, entre otros, el módulo electrónico que hará las funciones de cerebro del sistema donde estará el software diseñado específicamente para controlar todas las funciones requeridas. Dicho software alternará las bombas por tiempo, al cumplirse las 4 horas de trabajo, y por presión, cada vez que se produzca un elevado consumo detectable por los presostatos. También parará las bombas, en la función automático, independientemente del estado en que se encuentre funcionando el sistema cuando el tanque subterráneo alcance el nivel bajo o tanque vacío.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

CONSTANCIA DE APROBACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN.....	vi
INDICE GENERAL	vii
INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
1 Descripción del proyecto.....	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Justificación.....	4
1.3 Descripción del Trabajo de Grado	5
1.4 Objetivo General	7
1.5 Objetivos Específicos.....	7
CAPÍTULO II	8
2 Marco teórico	8
2.1 Interruptor automático.....	8
2.2 Contactor	10
2.3 Relé térmico	11
2.4 Software del sistema	13

CAPÍTULO III	14
3 Marco metodológico	14
3.1 Selección del tipo de arranque	14
3.2 Determinación de los componentes del tablero	14
3.2.1 Determinación del contractor	14
3.2.2 Determinación del relé de protección térmica	16
3.2.3 El breaker o interruptor automático	17
3.2.4 Determinación del interruptor magneto térmico de control	22
3.2.5 Relé para la supervisión de falla de fase	24
3.3 Determinación de los componentes externos al tablero de control y potencia	25
3.3.1 Ubicado en el tanque de almacenamiento	25
3.3.2 Ubicado en la línea de presión	25
 CAPÍTULO IV	 26
4 Resultados	27
4.1 Elección del módulo electrónico de aplicación general	27
4.2 Diagrama de bloques del sistema de presión constante	28
4.3 Diseño del software como sistema de presión constante	31
4.4 Esquema eléctrico final completo del tablero eléctrico	40
 CONCLUSIONES	 43
RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXOS	48

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

1. Categorías de trabajo para los contactores en corriente según norma IEC 158-1	11
2. Valores de corriente y tiempo calculados de la curva de corriente que se muestra en la figura 1	18
3. Datos tomados de la curva del relé de protección térmica para Llevarlos a una gráfica junto con la curva del interruptor Mag-Break	19
4. Capacidad de corriente de breakers y Mag-Break protector De circuito de motor.....	19
5. Consumo de los componente del sistema de control	23

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Diagrama de bloques del sistema de presión constante	5
2. Curva típica de corriente contra velocidad de un motor de corriente alterna en arranque directo con rotor jaula de ardilla	9
3. Curvas de par motor M , par resistente M_S y el par resultante $M - M_S$	10
4. Curva típica de relé de protección térmica.....	12
5. Curva del relé de protección térmica de la serie K67D marca Fanal, con rango de ajuste 55 – 80 A	17
6. Curva de disparo del breaker Mag-Break36150 de GE	20
7. Curva de relé térmico, el breaker y la corriente de arranque	21
8. Curvas de disparo para interruptor magneto térmicos serie E90	24
9. Simplificador de los diferentes estados de funcionamiento del Sistema de presión constante	28
10. Dispositivo electrónico Logo	31
11. Bloques lógicos en los que se hizo el programa para el sistema de presión constante	32
12. Implementación del circuito del primer contador; cuenta hasta 1	33
13. Incorporación del segundo contador con el primer contador	34
14. Circuito de los 3 contadores	35
15. Bloques AND y OR antes de la entrada del contador	36
16. Circuito donde se incorpora la entrada I2 al esquema	37
17. Incorporación de circuito aditivo para una bomba al activarse I2	38
18. Esquema final. Se incorpora: I3 correspondiente al preostato P2, el reloj del sistema y la salida de tanque vacío, T.V.	39
19. Circuito de potencia para tablero de 3 bombas presión constante	41

20. Circuito de control para tablero de 3 bombas presión constante42

INTRODUCCIÓN

Existen dos factores muy importantes que intervienen en un sistema de bombeo para llevar el agua, por ejemplo, desde la planta baja del edificio a todos los pisos del mismo: las bombas, por una parte, como sistema electromecánico capaz de hacer la impulsión del agua y por la otra, el tablero de control y potencia que las gobierna. El diseño de este último factor nombrado, es el trabajo desarrollado.

El proyecto ha sido dividido en 5 capítulos donde se desarrollan los siguientes contenidos del trabajo:

En el primer capítulo se menciona todo lo relativo al anteproyecto: el problema planteado, su justificación, la descripción del trabajo y sus objetivos.

En el segundo se fijan los contenidos relacionados con el transitorio de arranque y la forma de trabajo del sistema, que sirvieron de base para el desarrollo de la investigación; todos aquellos conceptos y criterios que soportan el desarrollo del mismo.

En el tercero se muestran todos los detalles para la determinación de los interruptores, contactores, relés térmicos y demás dispositivos, así como también los componentes externos necesarios para la automatización del sistema.

El cuarto se dedica exclusivamente al estudio y selección del módulo electrónico; a la generación del diagrama de bloques como sistema; al diseño del software como sistema de presión constante, según lo desarrollado en el diagrama de bloques; y como resultado de todo el estudio realizado, se obtiene el esquema eléctrico completo del tablero que gobierna al sistema de bombeo.

Ya para hacer el cierre, en el quinto capítulo se discuten los resultados, se hacen las conclusiones y recomendaciones, nombrando también la bibliografía que respaldó la investigación y se presentan los anexos para completar la información en algunos capítulos.

CAPÍTULO I

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se diseñó un tablero de control y potencia para sistema de bombeo el cual mantiene la presión, al final de la línea de bombeo, en un determinado rango que permite a los usuarios de la misma, en cualquier parte de la residencia, apartamento, casa o habitación que a cualquier hora, de las 24 que tiene el día, la presión se mantenga dentro de un rango aceptable, independientemente del consumo. La cual, nunca es tan elevada como para dañar las instalaciones del usuario, ni tan baja como para producir molestias por la insuficiente presión que le llegue a su punto de suministro.

En primer lugar se requirió, para hacer el diseño, determinar los componentes principales del tablero de presión constante, haciendo énfasis en el análisis que permite la selección de cada uno de estos componentes. Como por ejemplo: el interruptor que protege el circuito de mando (magnetotérmico de control), el cual se encarga de hacer la protección de todo el circuito de control en el sistema; los interruptores termo magnéticos, que se encargan de proteger los motores de las bombas y el cableado de conexión contra los cortocircuitos; los contactores electromagnéticos, encargados de hacer los arranques y las paradas de las bombas, son los suiches de potencia en el sistema; los relés térmicos, encargados de la protección de los motores contra las sobre corrientes.

En segundo lugar, para la automatización del equipo, se determinó qué componentes externos al tablero serían colocados en la línea de presión del sistema, para que se encarguen de suministrar información que éste necesite. También se

incluyó un PLC de aplicación general adecuado para este fin, y se diseñó el software que permite al tablero ejecutar todas las funciones del sistema de presión constante.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El tablero de control es el dispositivo encargado de controlar las bombas en un sistema de bombeo; indica, a grosso modo, cuando arrancan, se adicionan, paran y rotan. En él se encuentra la lógica del equipo que produce toda la automatización de la unidad. Este sistema ha venido funcionando hasta nuestros días con una gran cantidad de piezas electromecánicas: relés instantáneos y temporizadores neumáticos, que lo hacen obsoleto frente a las nuevas tecnologías que han surgido en los últimos años.

Además, en estos casos cuando el tablero contiene demasiadas piezas de este tipo, el número de fallas que puede presentar el equipo se hace muy grande, requiriendo éste una mayor cantidad de horas hombre de mano de obra especializada, que hacen que el mantenimiento se vuelva muy costoso con muchas paradas inesperadas al año.

Con el pasar del tiempo nuevas tecnologías, con mejores prestaciones y bajo mantenimiento, se hicieron presentes en el mundo con bajos precios. Los relés electromecánicos, a pesar de que sus diseños también han sido mejorados, se han venido quedando atrás hasta para desarrollar lógicas sencillas por sus muy serios problemas de velocidad, corta vida útil y su terrible complicación con el mantenimiento.

En estos últimos años han aparecido en el mercado nacional diversos componentes y dispositivos electrónicos de última generación, que con el transcurrir del tiempo han bajado de precio, y pueden suplir los componentes electromecánicos

con que venían funcionando estos tableros; que en efecto, los hacen de operación más confiable.

La propuesta para la elaboración de este trabajo se basó en la modernización de este tipo de tablero mediante un nuevo diseño; usándose para ello componentes de nueva generación que están presentes en el mercado nacional a muy bajos precios, a través de empresas multinacionales con representación en el país. Mejorándose con este diseño la confiabilidad, autonomía, vida útil, el mantenimiento y las dimensiones del tablero de control del equipo de bombeo, lo que reduce en gran medida las paradas inesperadas del sistema.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

Se inició la realización de este trabajo de grado, con la selección del tipo de arranque que usarán estas bombas, las cuales están condicionadas, principalmente, por su potencia y la capacidad que tiene el cableado de la instalación. Estos dos factores son de fundamental importancia en el correcto funcionamiento del sistema; determinan la corriente máxima absorbida durante el arranque de las bombas y la caída de tensión que esta produce.

Luego se siguió con el análisis que permitió determinar los diferentes componentes de potencia que requiere el tablero: interruptores electromagnéticos, suiches de potencia y relés térmicos. Dimensionado cada uno de ellos, claro está, por la potencia del sistema, las corrientes en el arranque de los motores y el régimen de trabajo que requiere este tipo de sistema para su funcionamiento.

Se continuó con la siguiente parte del análisis y se determinó la caracterización eléctrica del tipo de suiches de nivel y de presión que se requiere. De esta forma la automatización trabajó como sistema de presión constante; por un lado, alimentada con la información de entrada, y por el otro, realimentada con la información de salida: la presión contenida en la línea de bombeo. Ver figura 1.

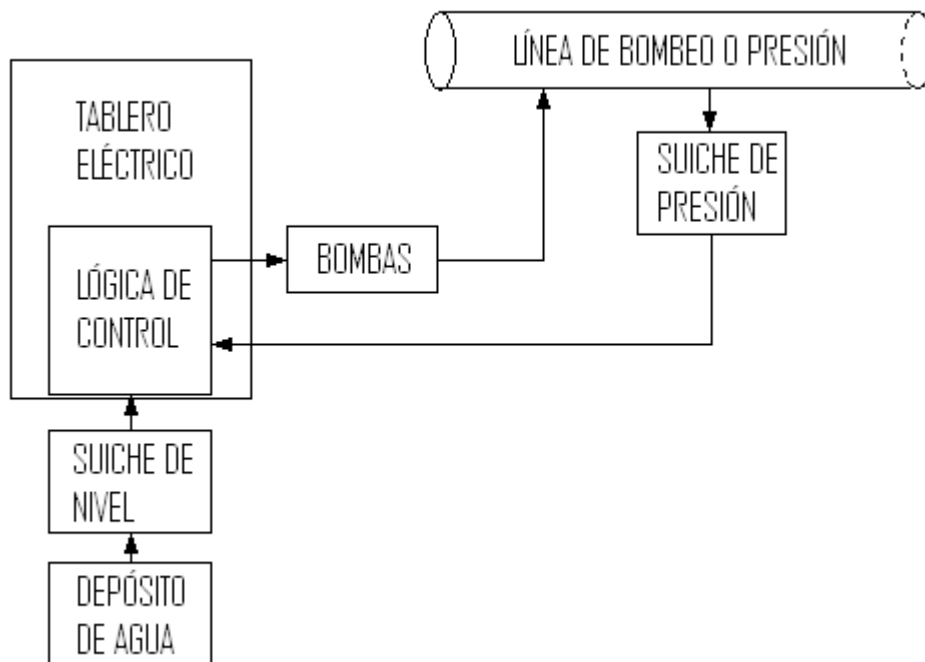


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema de bombeo de presión constante.

El bloque de lógica, quien gobierna las bombas, se diseñó con la condición obligada de mantener al menos una bomba operativa para que haya la presión requerida en la línea de bombeo. Para tal fin se desarrolló, en este paso, todo el software que se usa en el tablero para ser automatizado como sistema de presión constante.

Específicamente se partió del módulo lógico universal de Siemens, LOGO, para el cual se contó como apoyo para su programación, con el soporte que brinda la herramienta de software LOGOSoft Comfort, versión 3.0; la cual básicamente permite para su aplicación la creación de programas fuera de línea, simulación de su circuito (o su programa) en el PC y la generación e impresión de un diagrama de conjunto del circuito.

Al ejecutarse todos los pasos descritos en las etapas anteriores, toda la información obtenida permitió realizar el esquema eléctrico completo del tablero de

control y potencia para un sistema de bombeo de presión constante; donde se observó con lujo de detalle, cuáles finalmente son los componentes del sistema y cómo es la interrelación entre ellos.

1.4. OBJETIVOS GENERALES

Diseñar un tablero de control y potencia, para un sistema de bombeo de presión constante de 3 bombas iguales de 25 HP en 220V.

1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar y comparar las prestaciones que presentan equipos similares en el mercado.
2. Estudiar y evaluar las protecciones contra cortocircuito de los motores de las bombas.
3. Estudiar y evaluar las protecciones contra sobrecarga de los motores de las bombas.
4. Estudiar y evaluar el tipo de contactor para arrancar y parar las bombas.
5. Estudiar y evaluar el tipo de control externo al tablero, que permitió completar la automatización como sistema de presión constante.
6. Diseñar un programa ejecutable, con la herramienta LOGOSoft Comfort, para emular la lógica del sistema de presión constante.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Se presenta aquí aquellos aspectos más relacionados del cuerpo teórico epistemológico que, según la orientación de la investigación a desarrollar, constituyen el soporte que sirve de base para el diseño de un tablero eléctrico de control y potencia para equipos de bombeo. Lo que permitirá analizar desde esta perspectiva, para cada uno de los componentes principales del tablero, la selección, con el mayor detalle posible, de cada uno de estos componentes.

2.1. INTERRUPTOR AUTOMÁTICO

Debe ser capaz de permitir el arranque de la unidad todas las veces que se ponga en marcha y alcance la velocidad nominal; si se bloquea el motor por cualquier razón, debe dispararse protegiendo la máquina.

Un motor de inducción de jaula de ardilla de diseño B, según NEMA, tiene un gran pico de la corriente de arranque mientras se pone en marcha; para los primeros 5 a 8 ciclos alcanza de 5 a 6 veces la corriente nominal, disminuyendo en la medida en que se acerca a la velocidad nominal, en la forma como se observa en la figura 2. En cada arranque del motor la corriente describirá esta evolución y el interruptor, destinado a dar la protección requerida al motor y al equipamiento, no deberá dispararse, pues estas serán condiciones normales de funcionamiento.

Este tiempo de arranque, que habrá que calcular, es importante para determinar una protección adecuada. Aunque como es sabido, muchas veces los fabricantes de las unidades de bombeo no suministran los datos necesarios para tal cálculo, sino que hay que hacerlo, como de hecho muchas veces se hace, en forma

aproximada, con datos obtenidos producto de la experiencia y la observación, con muy poco apoyo en la teoría.

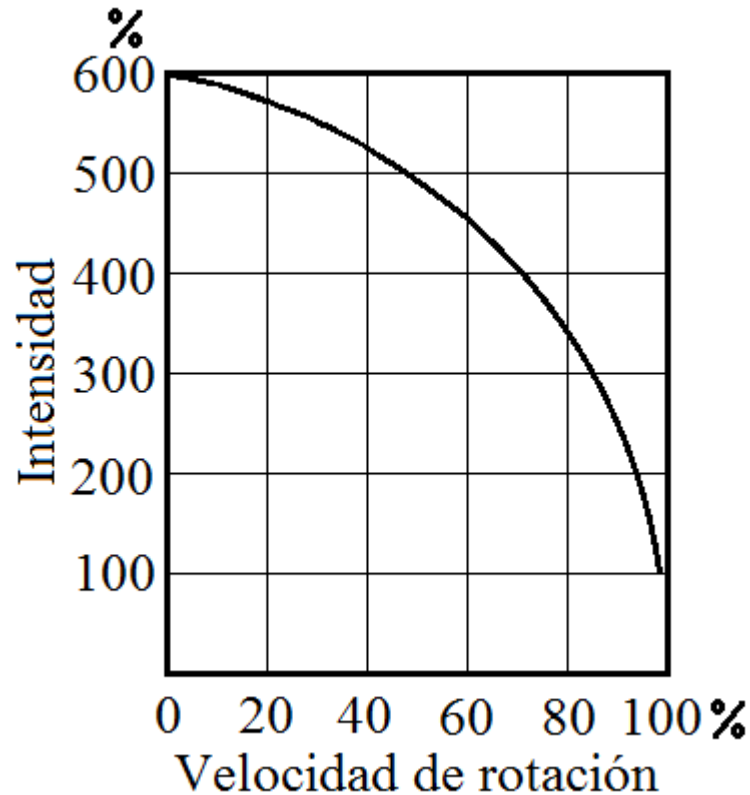


Figura 2. Curva típica de corriente contra velocidad de un motor de corriente alterna en arranque directo con rotor jaula de ardilla.

Analizaremos el tipo de interruptor y su curva basándonos en dos hechos: la evolución de la corriente de arranque del conjunto motobomba, mostrada en la figura 2, y su tiempo de duración; para ello, partiremos de la ecuación que rige la dinámica del funcionamiento de la unidad: la ecuación de equilibrio de los pares para un movimiento de rotación:

$$[1] \quad M - M_S = J \frac{dw}{dt} (\text{Nm}) \text{ ----- ec.}$$

1

Donde M representa el par desarrollado por el motor; M_S , el par resistente de la bomba; J , el momento de inercia total correspondiente a todas las masas giratorias;

w, la velocidad angular del eje de la unidad; y t, el tiempo. La figura 3 muestra las curvas de par.

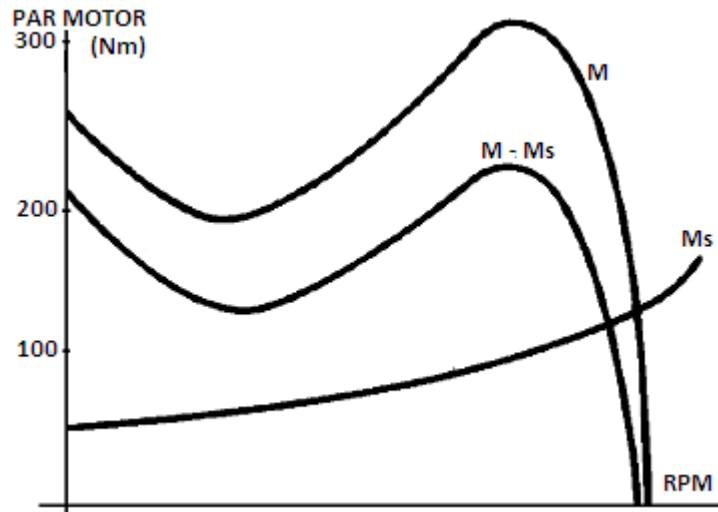


Figura 3. Curvas de par motor M , par resistente M_s y el par resultante $M - M_s$.

2.2. CONTACTOR

El análisis que conduce a la selección del contactor en el diseño se sustenta en lo indicado por la norma IEC 158-1, que establece las categoría de trabajo de los contactores en corriente alterna según el tipo de carga empleada, en la que se distingue, entre otros tipos de carga, la que nos interesa, la de un motor con rotor de jaula de ardilla.

Aquí se establece las condiciones en que se hace la conexión y el corte de la corriente de la máquina, ya que son condiciones diferentes el arrancar la máquina y pararla cuando haya alcanzado su velocidad nominal, que arrancarla y pararla, por ejemplo, cuando se inicia el transitorio de arranque. Ver tabla 1.

Tabla 1. Categorías de trabajo para los contactores en corriente alterna según norma IEC 158-1.

Categoría	Aplicaciones típicas	Funcionamiento normal						Funcionamiento temporal						
		Conexión			Desconexión			Conexión			Desconexión			
		I/In	V/Vn	Cos φ	I/In	V/Vn	Cos φ	I/In	V/Vn	Cos φ	I/In	V/Vn	Cos φ	
AC-1	Cargas no inductivas o ligeramente inductivas.	1	1	0,95	1	1	0,95	1,5	1,1	0,95	1,5	1,1	0,95	
AC-2	Motores de anillos rozantes: arranque, parada, inversión del motor	2,5	1	0,65	2,5	1	0,65	4	1,1	0,65	4	1,1	0,65	
AC-3	Motores de jaula de ardilla: arranque, parada. (sin inversión)	In < 17A	6	1	0,65	1	0,17	0,65	10	1,1	0,65	8	1,1	0,65
		In < 100A	6	1	0,65	1	0,17	0,35	10	1,1	0,35	8	1,1	0,35
		In > 100A	6	1	0,65	1	0,17	0,35	8	1,1	0,35	6	1,1	0,35
AC-4	Motores de jaula de ardilla: arranque, parada (con inversión en marcha).	In < 17A	6	1	0,65	6	1	0,65	12	1,1	0,65	10	1,1	0,65
		In < 100A	6	1	0,35	6	1	0,35	12	1,1	0,35	10	1,1	0,65
		In > 100A	6	1	0,35	6	1	0,35	10	1,1	0,35	8	1,1	0,35
AC-11	Relés y dispositivos de control. Contactos auxiliares.	10	1	0,70	1	1	0,4	11	1,1	0,70	11	1,1	0,70	

2.3. RELÉ TÉRMICO

Para la protección por relés térmicos partiremos del hecho expresado en la ecuación

$$I^2t = constante \text{ - - - - - ec.2.}$$

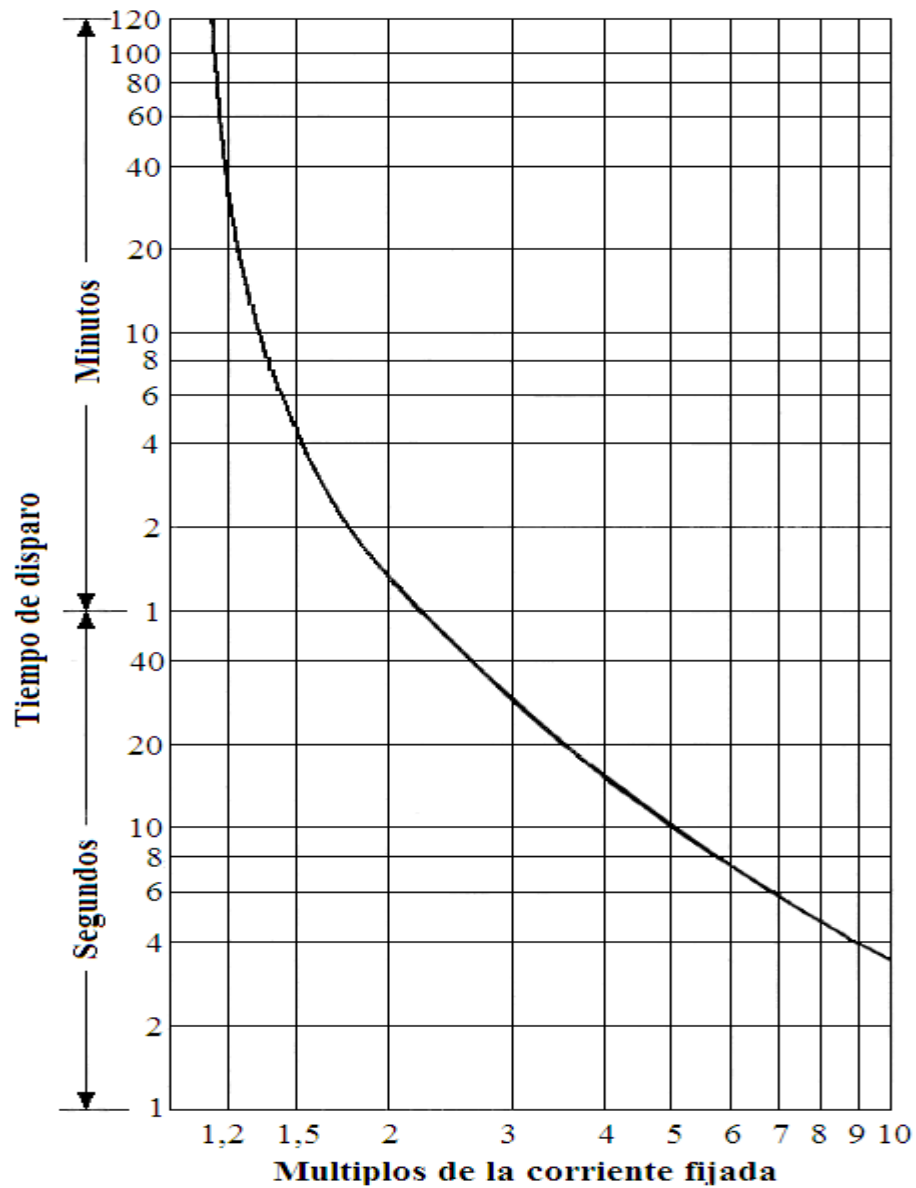


Figura 4. Curva típica de relé de protección térmica.

Que corresponde al calor producido por una corriente que circula a través de una resistencia determinada. Donde I representa el valor eficaz de la corriente y t es el tiempo.

Esta es la expresión analítica de la curva de tiempo de disparo en función de la intensidad, la cual expresa el tiempo que debe transcurrir desde el momento en que se

produce la sobrecarga hasta que se desconecta el elemento de mando. La figura 4 muestra la curva hiperbólica de la ecuación 2

2.4. SOFTWARE DEL SISTEMA

La perspectiva de análisis teórico, que sienta las bases para el desarrollo del software del sistema, parte del estudio de los criterios en los cuales el sistema de presión constante tiene establecido la lógica de funcionamiento, el cual queda enmarcado en la siguiente forma de trabajo:

Al iniciarse el funcionamiento del equipo el tanque subterráneo debe estar lleno; si no es así, no podrá ponerse en marcha ninguna bomba. Más aún: en cualquier momento en que el tanque llegue a vaciarse, la o las bombas que estén funcionando deberán pararse. Condición *sine qua non* en el funcionamiento del sistema que activará una señal de alarma indicando tanque vacío.

Cuando el consumo es bajo, siempre habrá al menos una bomba funcionando; y cuando es alto, una vez que se está en las horas de alto consumo, hay la posibilidad de adicionar una segunda bomba para satisfacer la demanda.

Las bombas trabajarán de manera alternada en ciclos de 4 horas para reducir la cantidad de arranques durante las horas de bajo consumo; esto favorece la vida útil de los contactores sin prolongar de manera exagerada el tiempo trabajado por rodamientos y sellos. Cuando se vayan a cambiar las bombas, con el fin de que no venga la columna de agua, 3 segundos antes de apagarse la que estaba funcionando, arrancará la bomba que quedará en operación. Este es el tiempo aproximado que tarda la bomba en alcanzar su velocidad de régimen.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA

3.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE ARRANQUE.

En Venezuela es normal el arranque directo de motores hasta 30HP en 208V; las instalaciones eléctricas, en las edificaciones grandes, son suministradas con esta capacidad, en donde el voltaje de alimentación no se ve comprometido por el pico de la corriente de arranque. Para determinar los componentes y hacer el diseño, partiremos pues de este hecho: las bombas del sistema arrancan a voltaje pleno.

3.2. DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL TABLERO.

3.2.1. Determinación del contactor

Los contactores se emplean para el mando local o a distancia de cualquier tipo de máquinas eléctricas; se utilizan en los sistemas de mando en que la potencia de acoplamiento y la frecuencia de las maniobras son muy exigentes. Además, resulta un elemento indispensable en la automatización para el mando de las secuencias de trabajo; están clasificados según el tipo de carga y la corriente que conectan y desconectan. En la tabla 1 se muestra la clasificación por categorías de trabajo.

Como se trata de un motor para equipo de bombeo es suficiente que su rotor sea jaula de ardilla, ya que dispone de un par de arranque suficientemente elevado y un mantenimiento muy bajo. En esta aplicación se arrancará la unidad con seis veces la corriente nominal y se parará cuando la corriente sea justamente la nominal, siendo ésta la forma de trabajo idealizada del contactor. Esto nos ubica en la categoría de trabajo AC-3 de la tabla 1, y como se verá un poco más adelante, con 4 millones de operaciones de vida útil.

De todas maneras siempre ocurre, en pequeño porcentaje, claro está, que en algunos arranques el motor, antes de alcanzar la velocidad nominal, es obligado a apagarse. Esto no es deseable, pero en la práctica ocurre, y el motor una vez que es arrancado es apagado inmediatamente cortando la corriente de arranque. Esto nos obliga a incorporar una parte del trabajo del contactor como AC-4, considerando que en toda su vida útil la contribución puede llegar a ser de un 10%.

Como el consumo del motor es de 68A para la carga nominal, el contactor lo podemos determinar con capacidad mayor o igual a esa corriente. Tomamos uno de los tantos fabricantes del mundo con representación en Venezuela, por ejemplo Fanal. Seleccionamos el modelo de contactor con capacidad igual o inmediatamente superior a 68A, el DSL 93. Observe en el anexo 2 la tabla donde se listan los contactores por categoría de trabajo; en ella se muestra el contactor seleccionado con capacidad para 90A AC 3.

Como ya se dijo antes respecto a nuestra aplicación, para un contactor, en la práctica, difícilmente su desconexión se haga a corriente nominal durante toda su vida útil; algunas veces se desconectará a la corriente de arranque, y otras más entre la nominal y la de arranque. Todo esto se fija, en la práctica, considerando un 10% de la categoría de trabajo AC 4. O sea, la vida eléctrica útil del contactor se determinará con un 90% AC 3 y un 10% AC 4. Así la fórmula que determina el servicio mixto, n_x , del contactor es:

$$n_x = \frac{n_{AC3}}{1 + h_{AC4} \left(\frac{n_{AC3}}{n_{AC4}} - 1 \right)}$$

Donde n_x , es el servicio mixto o vida útil del contactor; n_{AC3} , la vida útil del contactor sólo en servicio AC3; n_{AC4} , la vida útil del contactor sólo en servicio AC 4; y h_{AC4} , partes de las conexiones con servicio AC 4 del número total de conexiones.

Observando las gráficas del anexo 3 donde se muestran los ciclos de arranque y parada AC 3 y AC 4 para una carga de 25HP, y de allí se obtienen la vida útil del contactor en AC 3 y AC 4. Los valores obtenidos son:

$$n_{AC3} = 4,0 \times 10^6, n_{AC4} = 0,12 \times 10^6 \text{ y } h_{AC4} = \frac{10\%(AC4)}{100\%} = 0,1.$$

Sustituyendo en la fórmula se obtiene.

$$n_x = \frac{4,0 \times 10^6}{1 + 0,1 \left(\frac{4,0 \times 10^6}{0,12 \times 10^6} - 1 \right)} = 0,9449 \times 10^6$$

Lo que muestra que la vida útil de los contactores alcanza, aproximadamente, unos 944 900 ciclos de arranque y parada. Bastante más reducida que la del caso AC 3. En la práctica este número se reduce aún más si no se la hace el mantenimiento adecuado a los contactos en forma periódica.

3.2.2. Determinación del relé de protección térmica.

Los relés térmicos son aptos para proteger al motor contra pequeñas sobrecargas de cierta duración, como las producidas por encima de la nominal y por debajo de la corriente de rotor bloqueado. Ejemplo de ello lo encontramos cuando se ha excedido el desgaste de los rodamientos, lo que exige un ligero, pero peligroso, aumento de la corriente por encima de la nominal por un tiempo prolongado.

El relé de protección térmica se selecciona del mismo fabricante para la capacidad de carga completa: 68A. Es del tipo clase 20: tiempo de disparo de 20s @ 6 veces la corriente nominal. La gráfica de la figura 5 muestra la curva de disparo del relé térmico modelo K67D, es inversamente proporcional a la corriente que por él circula. A mayor intensidad, menor será el tiempo de disparo. Tiene rango ajustable que va desde los 55A hasta los 80A, compensado contra variaciones de la

temperatura ambiente y sensitivo a la pérdida de fase; se ajusta a la corriente de full carga. Otros detalles, ver los anexos 5 y 6.

K67D

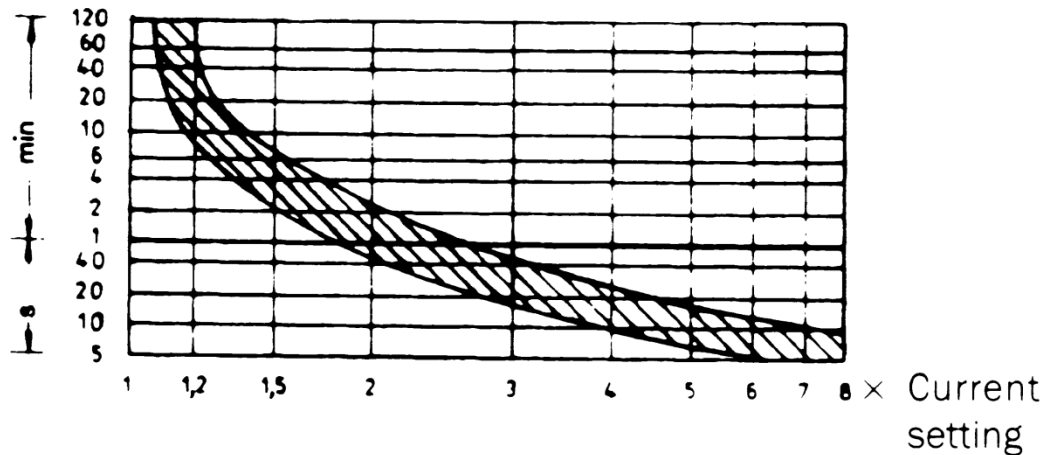


Figura 5. Curva del relé de protección térmica de la serie K67D, marca Fanal, con rango de ajuste 55 – 80A.

3.2.3 El breaker o interruptor automático.

En nuestro caso los motores son de 25HP en 220V con una corriente nominal de 68A y como se desprende de la figura 2 su corriente de rotor bloqueado es $6 \times 68A = 408A$. Esta es la corriente que consumirá el motor cada vez que arranque y el breaker no deberá dispararse en este caso. Supondremos, ya que los fabricantes de las bombas no suministran las curvas de par para su cálculo, que el tiempo de arranque, tomando un caso exagerado, es de 3 segundos.

El interruptor Mag-Break de General Electric está diseñado para la protección de motores con base al principio magnético; tiene un ajuste que permite seleccionar la curva de disparo, permitiendo así adaptarse a las necesidades de cada instalación. Está provisto de sensores de corriente en cada polo, garantizando, de esta manera, una efectiva protección contra los cortocircuitos.

De todas las unidades de disparo disponible para este interruptor: 3, 7, 30, 60, 100 y 150 amperios, la que mejor se adaptó a nuestras condiciones de trabajo fue la de 150A. Ya que colocando el ajuste en la posición 2 fijamos la curva de disparo instantáneo para 570A, la cual presentará el disparo entre un valor mínimo de 450A y un valor máximo de 720A; ambos por encima del valor de la corriente de rotor bloqueado: 408A. La figura 6 muestra la gráfica del interruptor con todas sus opciones.

Con el fin de representar en una misma gráfica las diferentes curvas involucradas en el análisis, vamos a recopilar toda la información normalizándola en una misma escala, facilitando de esta manera la representación. En la tabla 2 se muestran los valores de corriente y tiempo tomados del modelo representado en la figura 2; en la tabla 3, los valores de corriente del relé térmico como una función del tiempo expresado en segundos; y la tabla 4, la corriente de cada unidad electrónica para el interruptor Mag-Break y el disparo instantáneo según la posición del ajuste seleccionado. En este caso téngase en cuenta que sólo están disponibles las unidades electrónicas (rating plug) que coinciden con la capacidad de la caja (frame).

Tabla 2. Valores de corriente y tiempo calculados de la curva de corriente que se muestra en la figura 2.

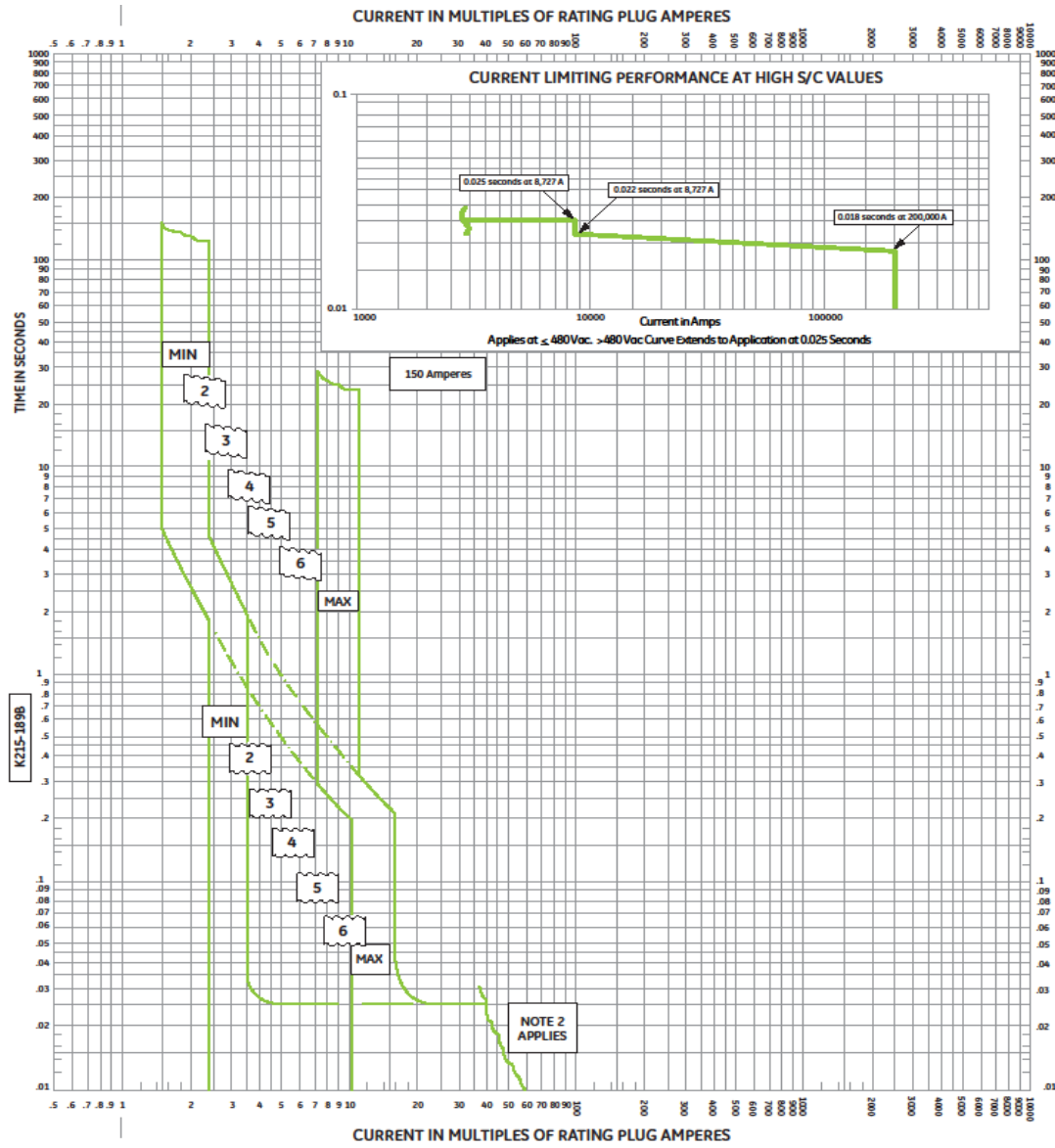
Porcentaje de la velocidad nominal en rpm.	Tiempo en segundos (s)	Corriente en amperios (A)	Factor de escala 150
3,3% = 118,8	t = 0,1	408	2,7
20% = 720	t = 0,6	378,6	2,5
40% = 1440	t = 1,2	345,6	2,3
60% = 2160	t = 1,8	300,3	2,0
80% = 2880	t = 2,4	226,6	1,5
100% = 3600	t = 3,0	68	1,0


Tabla 3. Datos tomados de la curva del relé de protección térmica para llevarlos a una gráfica junto con la curva del interruptor Mag-Break.

Setting (ajuste)	Amperios (A)	Factor de escala150	Tiempo mínimo (s)	Tiempo máximo (s)
1,2	81,6	0,5	480	6000
1,5	102	0,7	120	480
2	136	0,9	46	180
3	204	1,4	18	50
4	272	1,8	10	28
5	340	2,3	7	18
6	408	2,7	5	14
7	476	3,2	3	11
8	544	3,6	2	9

Tabla 4. Capacidad de corriente de breakers y Mag-Break protector de circuito de motor.

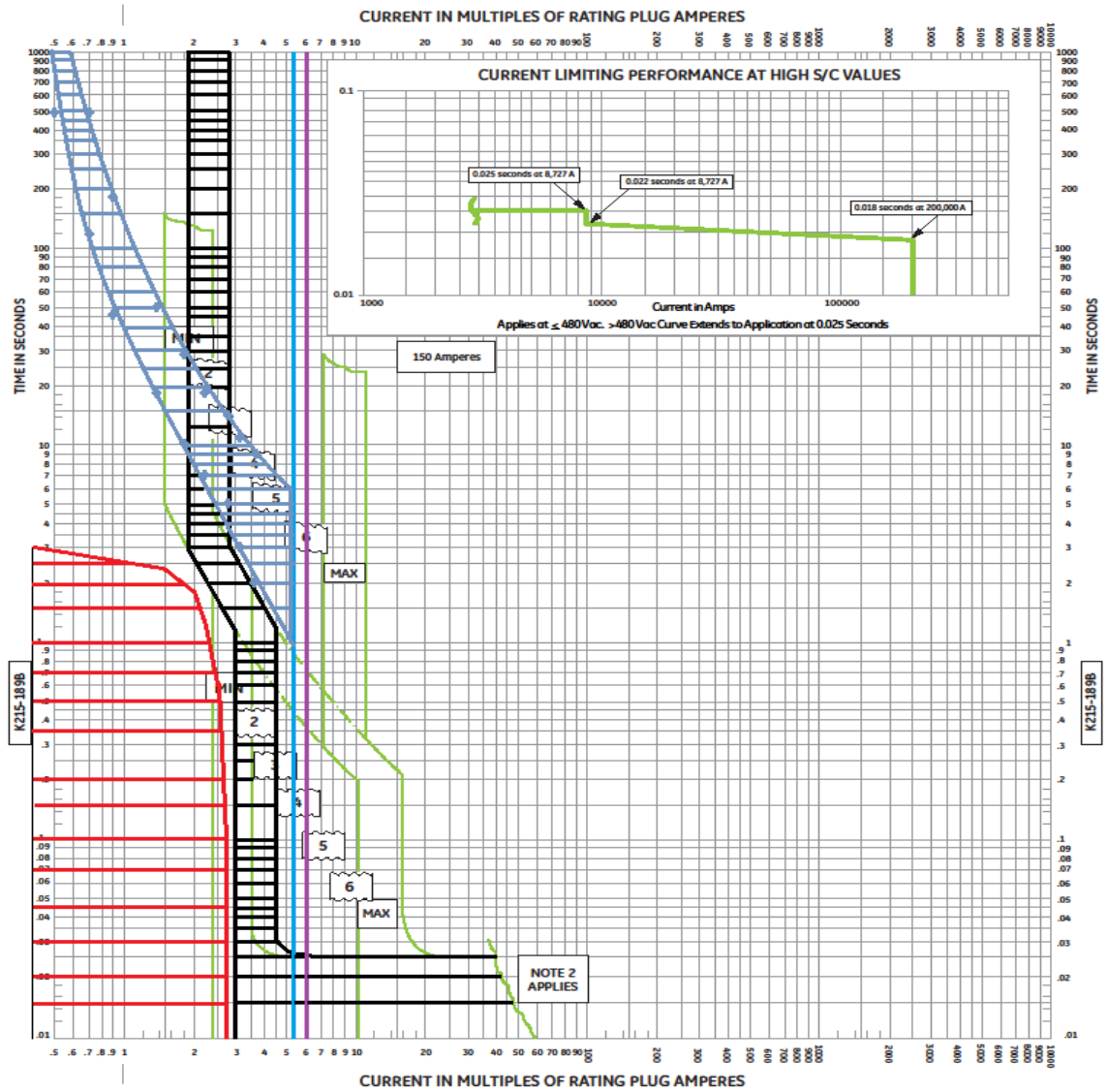
Frame	Max. Frame Amps	Rating plug Amps	Instantaneous Trip Settings, Nominal RMS Sym. Amps						
			Trip Setting Adjustment Position						
			Min.	2	3	4	5	6	Max.
	7	3	11	13	16	19	24	31	39
		7	22	27	35	43	56	71	90
	30	15	43	55	69	86	111	143	182
		20	58	74	93	116	151	196	254
		25	73	93	117	147	193	253	332
		30	87	112	142	179	237	314	415
	60	40	118	150	188	237	309	394	501
		50	148	187	236	296	385	498	637
		60	178	224	284	355	454	604	777
	100	70	206	261	329	411	534	684	863
		80	236	299	377	472	614	787	999
		90	267	338	426	532	694	892	1138
		100	297	376	475	593	775	998	1280
	150	110	328	415	524	654	857	1105	1426
		125	374	474	599	745	979	1265	1640
		150	450	570	720	897	1181	1528	1991




 GE Consumer & Industrial - Electrical Distribution	MAG-BREAK™ Motor Circuit Protector Type SE with Spectra RMS™ Solid-state Trip	K215-189B
	Current Ratings Frame Amperes 150 Rating Plug Amperes 150	
Voltage Ratings 2 Pole 480 Vac max. 3 Pole 600 Vac max.	Instantaneous with Tracking Short-time Delay Time-current Curves Curves apply at 50 to 400 Hertz and from -20°C to 70°C breaker ambient	Note 1: Operation above 60 Hertz and 50° C play require thermal and interrupting derating of the circuit breaker. Refer to Selection and Application manual. Note 2: Current limiting range, please refer to inset curve.

05.10

Figura 6. Curva de disparo del breaker Mag-Break 36150 de GE.



 GE Consumer & Industrial - Electrical Distribution	MAG-BREAK™ Motor Circuit Protector Type SE with Spectra RMS™ Solid-state Trip	K215-189B
	Current Ratings Frame Amperes 150 Rating Plug Amperes 150	
Voltage Ratings 2 Pole 480 Vac max. 3 Pole 600 Vac max.	Curves apply at 50 to 400 Hertz and from -20°C to 70°C breaker ambient	

05.10

Figura 7. Curva del relé térmico, el breaker y la corriente de arranque.

En la figura 7 el eje vertical está mostrando la variabilidad del tiempo; mientras que el eje horizontal, múltiplos de la corriente de la unidad electrónica de 150A. Observe la curva de color rojo, esta es la que corresponde a la evolución de la corriente de arranque del motor. Se inicia con 408A ($408/150 = 2,72$) y finaliza a los 3 segundos en 68A ($68/150 = 0,45$).

La curva seleccionada del interruptor es la destacada con color negro, tiene el disparo mínimo en la vertical que sube por 450A ($450/150 = 3$) y el máximo en 720A ($720/150 = 4,8$), lo que corresponde al ajuste en la posición de 2; como se puede observar no toca la trayectoria que sigue la corriente de arranque. La curva en azul corresponde a la característica de disparo del relé de protección térmica; provee protección contra sobrecargas sostenidas (largo tiempo) y bloqueo o atascamiento del eje del motor.

La corriente nominal la obtenemos de la tabla 430.150 del Código Eléctrico Nacional, CEN, la cual es de 68A. Esta nos permite fijar el calibre del conductor del breaker al 125% de la corriente de plena carga $1,25 \times 68A = 85A$. Se escoge de la tabla 310.16 del CEN el cable 4 AWG con aislamiento THHN, el cual tiene capacidad para 95A a 90 °C. Pero el interruptor requiere ser cableado con 1/0 AWG para mantenerse sus condiciones nominales de disipación de calor; y será este último el conductor que se instalará en definitiva.

3.2.4. Determinación del interruptor magneto térmico de control.

El magneto térmico de control es un interruptor termo magnético de reducido tamaño, especialmente diseñado para la protección contra cortocircuitos y sobrecargas en instalaciones eléctricas de bajo consumo; debido a esto, son particularmente útiles en los circuitos de mando y control de los tableros eléctricos.

Para determinar el interruptor magnetotérmico que protege el circuito de control, es necesario tener el consumo aproximado de todos los componentes del circuito para el peor caso. Así podemos entonces hacer la siguiente lista en forma aproximada de acuerdo a la contribución de cada componente.

Tabla 5. Consumo de los componentes del sistema de control.

CANTIDAD	DISPOSITIVO	CONSUMO
3	Bobinas de contactor DSL 93	5,18A cuando las bobinas entran; tiempo máximo: 35ms.
3	Lámparas de marcha de 22mm, color verde, bombillo de neón.	12mA
1	Lámpara de tanque vacío de 22mm, color rojo, bombillo de neón.	–
3	Selectores M-O-A	–
1	Módulo electrónico	30mA
1	Relé falla de fase	30mA
TOTAL CONSUMO		5,25A

Tal como se observa en la tabla 5 el consumo permanente no llega a 100mA, sin embargo se eleva, en forma apreciable, cuando entran las bobinas de los contactores simultáneamente. Este transitorio tiene una duración máxima de 35ms, o sea 0,035s con el pico de 5,18A. Lo que en total pone el consumo en su peor caso en 5,25A. Observando la gráfica mostrada en la figura 8, el interruptor que mejor ajusta con estos datos calculados es el que corresponde a 6A de capacidad nominal. Fíjese que la curva que corresponde a la característica B tiene más cerca el pico de consumo, 5,25A (< 6A), pero no llega a tocarlo pues su duración es de muy corto tiempo. Como en el circuito de control interviene un dispositivo trifásico, el relé de falla de fase, tomaremos el interruptor de 3x6A con la característica de disparo B.

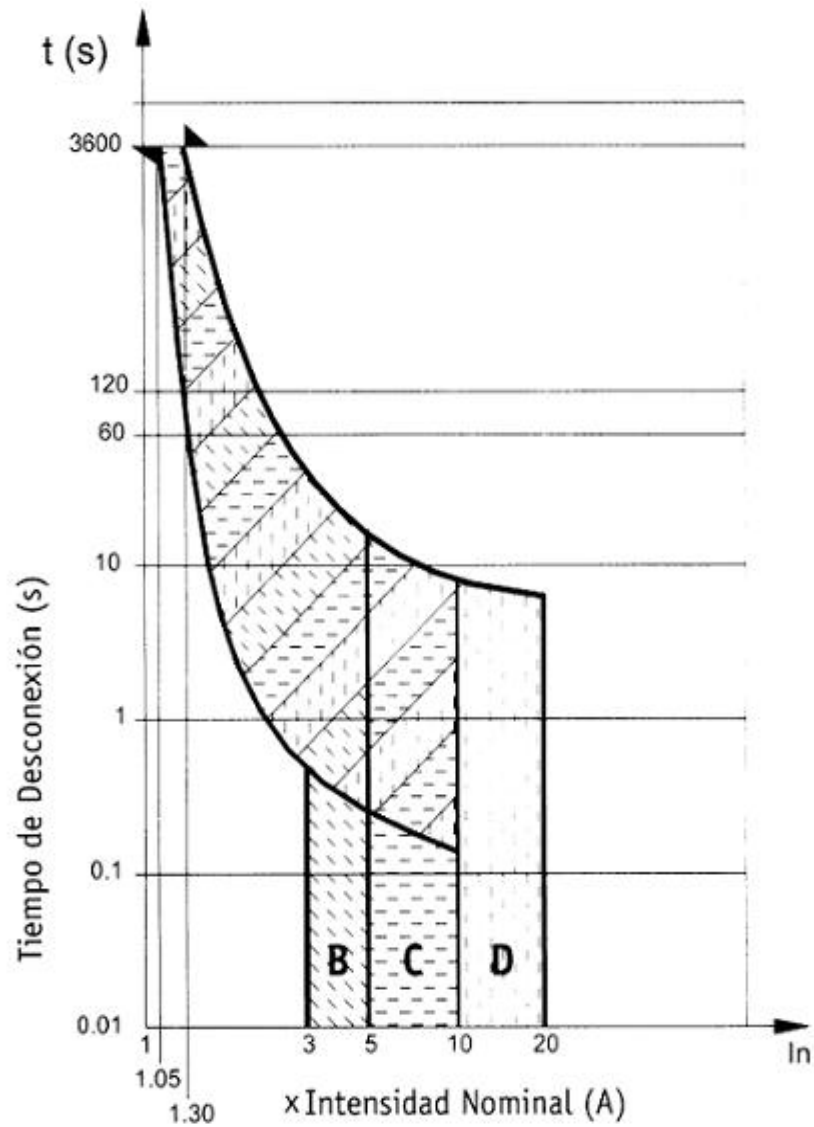


Figura 8. Curvas de disparo para interruptores magneto térmicos serie E90.

3.2.5. Relé para la supervisión de falla de fase

Debido a las fallas que presenta el suministro eléctrico, hoy día, se hace necesario incorporar un relé supervisor contra algunas de las perturbaciones en la línea que más afectan a los motores: alto y bajo voltaje, desbalance de voltaje, pérdida de una fase y secuencia invertida.

La casa Gente, fabricante nacional, tiene disponible el supervisor trifásico Genius I, utilizado para la protección de motores y cargas trifásicas. Este dispositivo permite un rápido diagnóstico y reporte de fallas, en lo que a las líneas se refiere, para tableros de arrancadores y de control de motores. El anexo 4 muestra otras especificaciones del dispositivo.

3.3. DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES EXTERNOS AL TABLERO DE CONTROL Y POTENCIA.

3.3.1. Ubicado en el tanque de almacenamiento.

El tanque subterráneo es el depósito de agua potable de donde succionan las bombas y es llenado por la empresa de acueducto. Una vez lleno, al menos una bomba debe ponerse en marcha en el equipo con el fin de mantener la presión constante, y sea cual sea la que funcione, si en algún momento el agua se agota en el tanque, deberá pararse el equipo por completo, pues las bombas podrían dañarse; cuando se reponga el nivel deberá automáticamente ponerse en marcha.

Esta función, tal como se ve, es muy fácil de implementar pues todo se resume a saber cuándo hay agua o no en el tanque, y esto lo podemos implementar con un flotante eléctrico: un suiche ON/OFF que se activa y desactiva con un determinado ángulo de flotación.

3.3.2. Ubicado en la línea de presión.

Como ya se dijo antes, en las 24 horas que tiene el día, para que haya siempre presión en la línea debe haber al menos una bomba funcionando. Si en algún momento la presión cae, antes de alcanzar un nivel que incomode a los usuarios, deberá arrancar una segunda bomba para restablecer la presión, o peor aún, si la

bomba que está funcionando se para en forma automática, por presentar una falla, por ejemplo, entonces deberá arrancar una segunda bomba.

Esto lo podemos lograr vigilando la presión en forma permanente; para ello sólo hay que ubicar un par de presostatos en la línea: suiches ON/OFF activados y desactivados por presión.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. ELECCIÓN DEL MÓDULO ELECTRÓNICO DE APLICACIÓN GENERAL.

Existen en el mercado nacional varios representantes de marcas importantes con módulos electrónicos económicos con características y prestaciones similares: Mitsubishi, tiene el modelo Alpha; Telemecanique, Zelio; Siemens, Logo, etc. Todos estos modelos:

(a) Permiten sustituir varios equipos de conmutación, gracias a las funciones integradas que disponen.

(b) Ahorran esfuerzo en el montaje y cableado; funcionan como un autómata.

(c) Reducen significativamente el espacio ocupado en el gabinete por los dispositivos de control.

(d) Cuando se desea introducir o modificar funciones posteriormente, no hay que añadir equipo de conmutación adicional ni cambiar el cableado.

(e) Tienen costos reducidos.

(f) Lenguaje de programación por Diagrama de Bloques de Funciones FBD (del inglés Function Block Diagram).

(g) Software de fácil uso; permite:

a) Creación offline de programas.

b) Simulación del circuito en el PC.

c) Generación e impresión de un diagrama de conjunto del circuito.

d) Puede archivar los circuitos en el sistema de ficheros del PC.

Cualquiera de los módulos nombrados sería adecuado para nuestra aplicación, sin embargo, debido a su fácil localización y dada la popularidad que ha alcanzado el módulo Logo, de la casa Siemens, usaremos éste en nuestra aplicación.

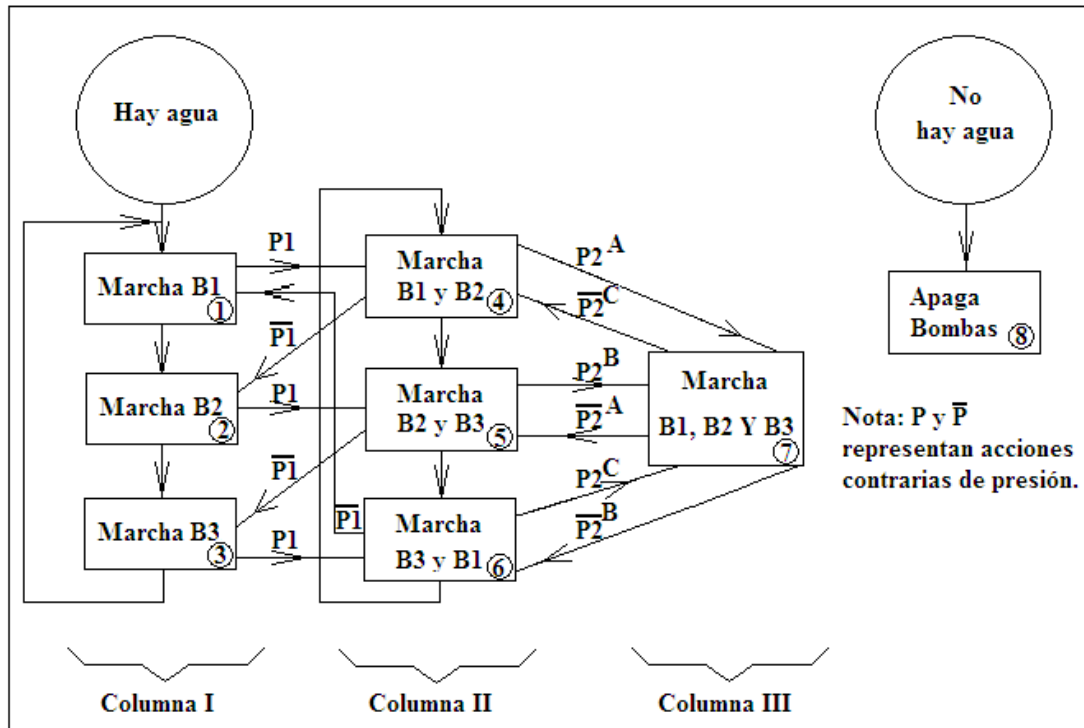


Figura 9. Simplificación de los diferentes estados de funcionamiento del sistema de presión constante.

4.2. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE PRESIÓN CONSTANTE.

Para facilitar la comprensión del diagrama de bloques tengamos en cuenta lo siguiente: en un sistema de alternación cuando hay 2 ó 3 bombas en marcha y sube la presión, se tiene que apagar una o dos bomba según el caso, y se apagará siempre comenzando por la primera y luego por la segunda que se puso en marcha; si de varias que están en marcha debe quedar una sola funcionando, lo hará la última que se

puso en funcionamiento. De esta forma se garantiza la necesaria rotación de todas las bombas.

Se debe tener en cuenta que en un sistema de presión constante las bombas se rotan y adicionan por acción del reloj, fijado en nuestro caso a 4 horas, y por la acción de los presostatos, respectivamente.

La figura 9 muestra los diferentes estados de funcionamiento del sistema numerados del 1 al 8 y encerrados por un círculo; observe que hay tres columnas:

La columna I corresponde a los estados 1, 2 y 3, donde sólo hay una bomba funcionando; en este caso los cambios sólo los puede hacer el reloj cada 4 horas: primero la bomba 1, luego la bomba 2, después la bomba 3, le sigue la bomba 1, y así sucesivamente y de esta manera siempre funcionará una sola bomba. La que va al descanso se apaga con un pequeño retardo después que la que quedará en marcha esté funcionando. El fin es el de mantener la presión en la línea evitando que se regrese la columna de agua.

Supongamos que está en marcha la bomba 2 (estado 2, columna I), y hay una caída en la presión, lo suficiente para activar el presostato P1, entonces a la derecha del bloque hay una flecha que sale en dirección al estado 5 en la columna II, bloque **Marcha B2 y B3**. O sea, se ha adicionado a la marcha de B2, la bomba B3 al activarse el presostato P1. Si la presión se recupera se desactiva el presostato P1, y hay que seguir la flecha de P1 con la barrita, la cual nos lleva de regreso a la columna I donde está el bloque **Marcha B3**, estado 3. Fijese que quien queda funcionando, después de estar dos bombas juntas, es la última que se puso en marcha, B3, y se apaga la que primero se había puesto en marcha, B2.

El sistema permanece en la columna I si sólo hay la acción del reloj, en cuyo caso se rotarán las bombas pero trabajando una por vez. El sistema pasará a los

estados de la columna II sólo cuando se active el presostato P1 producto de una caída de presión. A cualquiera de los estados de la columna II que llegue, si no hay más cambios de presión, las dos bombas que están funcionando se alternarán por reloj; si el sistema está en **Marcha B2 y B3** (estado 5), al activarse el reloj el sistema pasará a **Marcha B3 y B1** (estado 6) y en el siguiente ciclo a **Marcha B1 y B2** (estado 4).

La columna II siempre tiene dos bombas funcionando, el sistema llegó a alguno de estos estados porque estaba en la columna I y la presión bajó activando el presostato P1. Estando aquí sólo pueden pasar tres cosas: cambio por reloj, explicado en el párrafo anterior, en cuyo caso cambiará de estado pero en la misma columna II; la presión se recupera y pasa de un estado de la columna II a un estado de la columna I siguiendo la ruta indicada por P1 con la barra; si la presión siguiera cayendo y se activa el presostato P2, entonces el sistema evoluciona al único estado de la columna III (estado 7) por la ruta que indica P2 con superíndice. Regresando a la columna II por la ruta que indica P2 con barra y el superíndice. Observe la rotación: por ejemplo, si está en **Marcha B3 y B1** (estado 6) y se activa P2, siga la flecha P2 con superíndice C, la cual pasa a la columna III con **Marcha B1, B2 y B3**, y una vez restablecida la presión toma la ruta para regresar con el mismo nombre pero con la barra, P2 con barra y superíndice C, quedando ahora en el bloque **Marcha B1 y B2** (estado 4). Fijese el recorrido: estado 6, estado 7 y estado 4, porque B3 fue la primera que entró y será, por tanto, la primera en salir.

La columna III tiene un sólo estado, el 7, al cual se llega solamente desde la columna II, y estando aquí sólo el sistema podrá pasar a los estados de la columna II. De la columna I se llega a la III pasando obligatoriamente por los estados de la columna II cuando se activan los presostatos P1 y P2. De la columna III también se irá de regreso a la columna I pasando previamente por la columna II cuando se desactiven los mencionados presostatos.

Es importante tener presente que el sistema estando en cualquiera de los estados, sea cual sea la columna, si el tanque subterráneo se vacía, se pararán todas las bombas que estuvieran funcionando. En el diagrama no se conectaron todos los bloques con el estado **No hay agua** para no sobrecargar más la figura de información, complicación ésta que dificultaría más la explicación.

4.3. DISEÑO DEL SOFTWARE COMO SISTEMA DE PRESIÓN CONSTANTE.

El módulo electrónico Logo, tal como se muestra en la figura 9, tiene 2 terminales para conectarle la alimentación, L1 y N; 8 terminales para las entradas, I1, I2,..., I8; y 4 salidas a contactos de relés, Q1, Q2, Q3 y Q4.

El software requerirá de las siguientes entradas: I1, para conectar el flotante eléctrico del tanque subterráneo; I2, para conectar el presostato P1; e I3, para conectar el presostato P2.

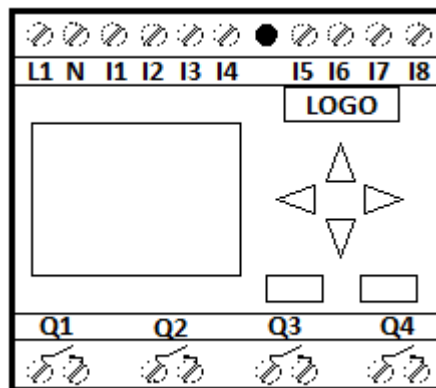


Figura 10. Dispositivo electrónico Logo.

En el caso de las salidas, Q1, Q2 y Q3 llevarán las señales de automático a cada uno de los selectores de las bombas; la salida Q4, se usará para encender una lámpara roja en la puerta del tablero, indicándose así que el tanque está vacío.

Es muy importante tener en cuenta que la entrada I1 que se usa para la conexión del flotante se activa cuando $I1 = 1$, indicándose con esto que el tanque está lleno. De manera similar ocurre para el caso de los presostatos: se dirá, por ejemplo, que el presostato P1 está activado cuando $I2 = 1$, lo que corresponde a decir que la presión está baja.

Se debe tener en cuenta también para desarrollar el software, como información muy importante, la capacidad disponible de bloques lógicos, ya que el sistema está limitado a usar sólo 200 de estos bloques; ésta es la capacidad de memoria disponible para el programa.

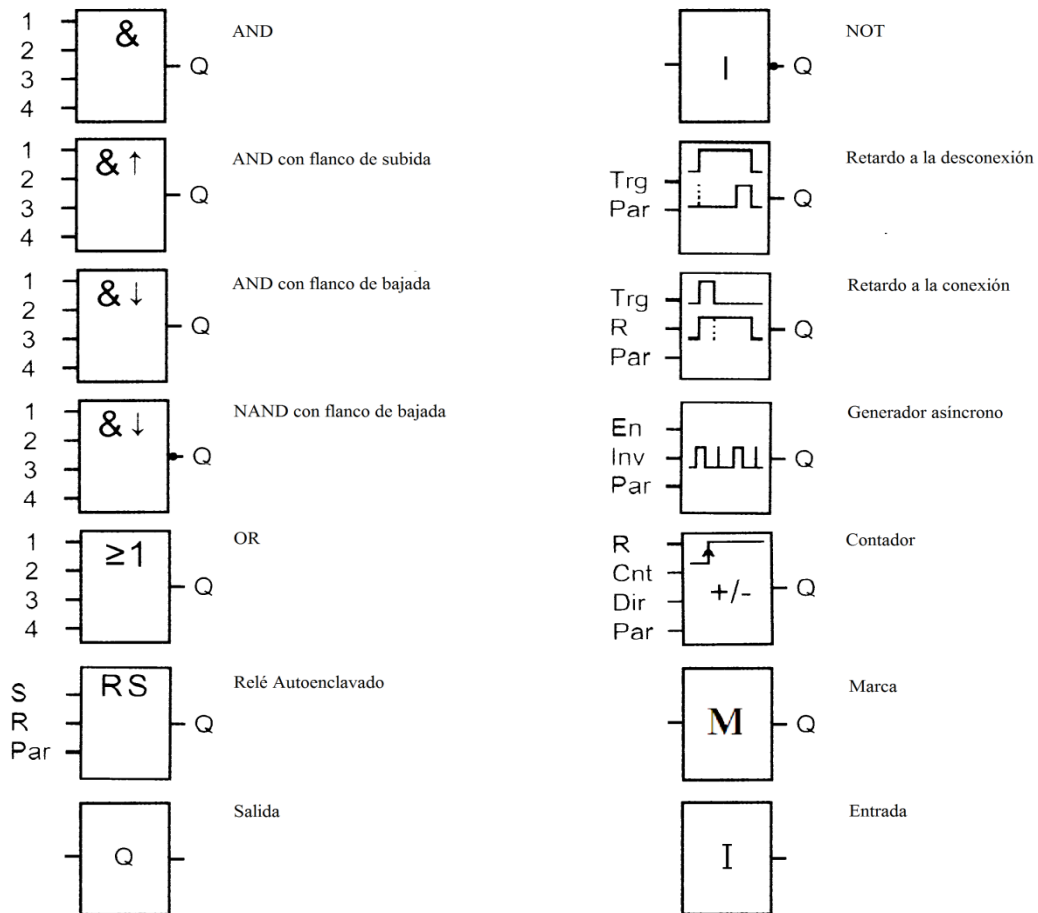


Figura 11. Bloques lógicos con los que se hizo el programa para el sistema de presión constante.

El programa cuenta con una buena variedad de funciones, tanto básicas como especiales. Aquí se presenta el listado de las que fueron usadas en la realización del programa; son elementos lógicos sencillos del álgebra de Boole.

Para conocer el listado completo que dispone el programa LOGOSoft Comfort, así como todas sus funciones, debe remitirse al estudio del manual indicado en la bibliografía.[2]

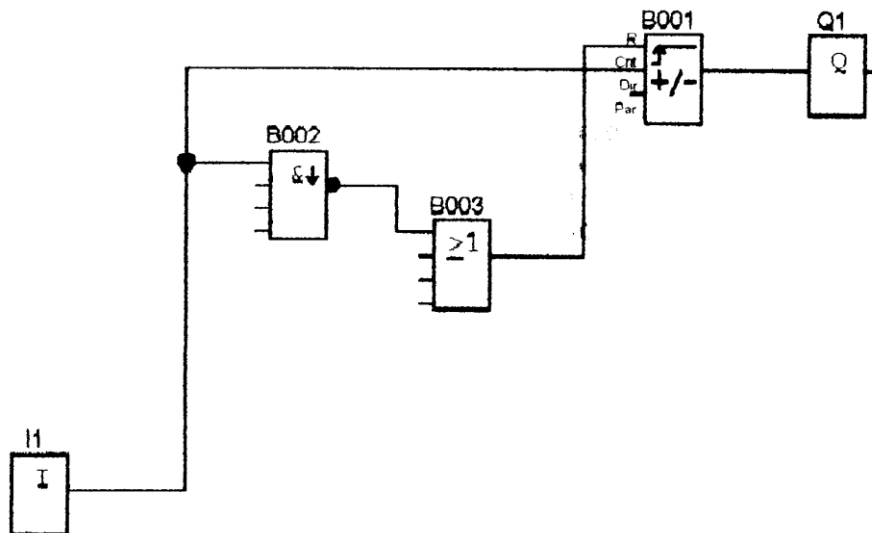


Figura 12. Implementación del circuito del primer contador; cuenta hasta 1.

Como se trata de hacer un software para alternar 3 bombas se partirá de la idea de usar 3 contadores: uno hasta 1, otro hasta 2 y un tercero que cuente hasta 3; cada uno activará directamente la correspondiente salida al alcanzar la cuenta que cada contador tiene fijada.

El circuito de la figura 12 muestra el contador de pulsos hasta 1; en él la entrada Cnt cuenta cuando hay un flanco de subida solamente y el contador, identificado por el bloque B001, se resetea cuando el pulso cae por medio de la

compuerta AND en el bloque B002. La compuerta OR (\geq), identificada con el bloque B003, que aparece, es con el fin de introducir posteriormente otras señales de reset de los contadores siguientes.

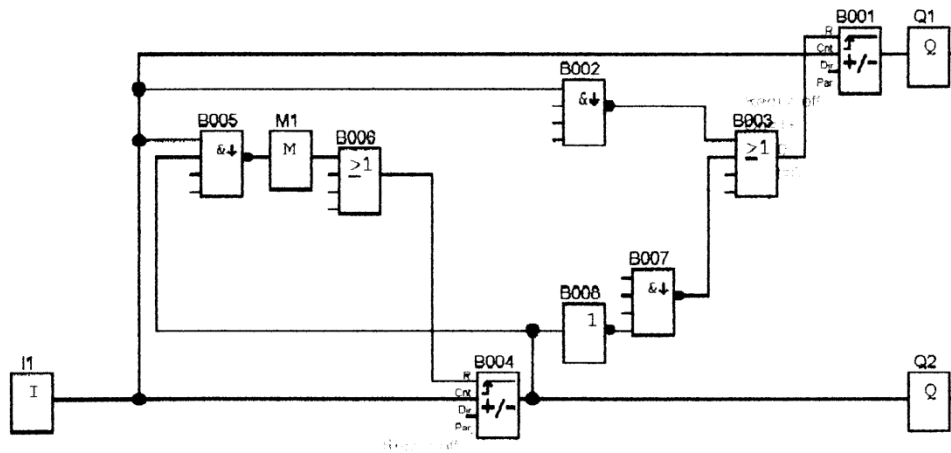


Figura 13. Incorporación del segundo contador con el primer contador

Se adiciona ahora el circuito para hacer la cuenta hasta 2; en él se incorpora un contador de pulso hasta 2 reseteándose a través del lazo donde se encuentra el bloque B005 y la marca M1, el bloque OR, B006, es para permitir acceso al reset del contador B004 desde la etapa siguiente. La salida de este contador es invertida con el bloque B008 y luego invertida nuevamente por flanco de bajada con el bloque B007, así se logra que actúe sobre el reset del contador 1 a través del bloque B003.

Esta parte del circuito funciona como un alternador de 2 bombas: con un pulso se activa la salida Q1 y al caer el pulso se desactiva; luego, al volver a activarse, se activa Q2, y al caer el pulso de la entrada, Q2 se desactiva.

La marca identificada por el bloque M1 la obliga a usar el software con el fin de evitar los estados inestables; éstas aparecerán cada vez que haga un lazo desde una salida hacia alguna entrada anterior.

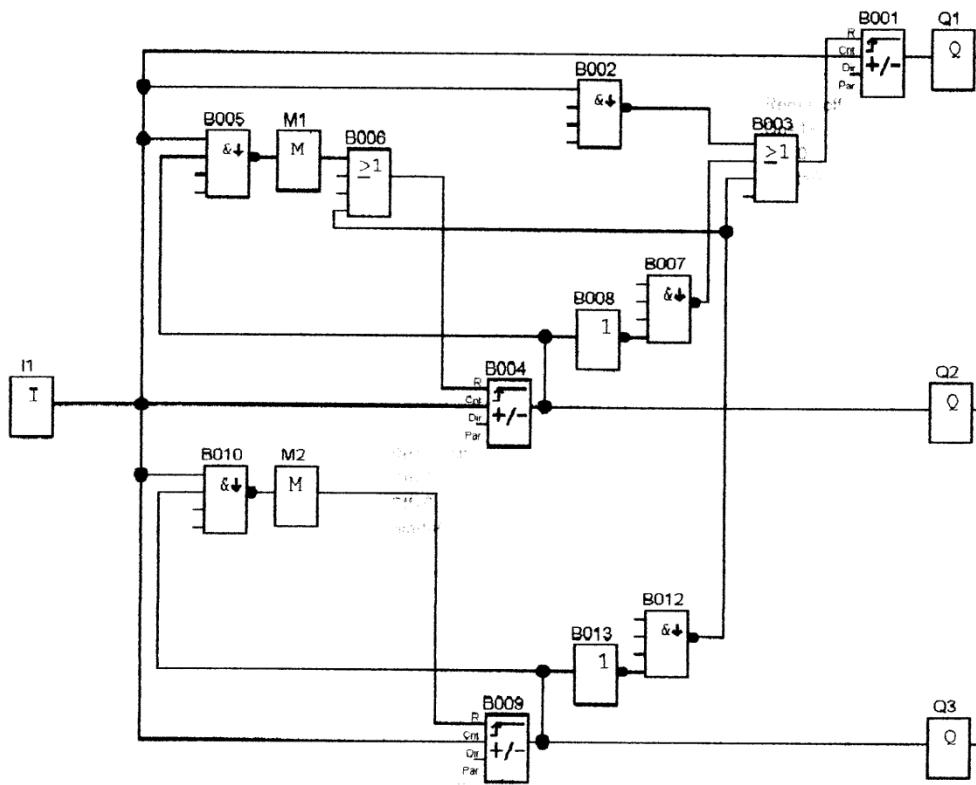


Figura 14. Circuito de los 3 contadores.

Para implementar el tercer contador sólo hay que hacer la réplica del segundo con su circuito de reset. Los bloques involucrados son: B010, M2, B009, B013 y B012. El bloque OR que va después de la marca M2 se elimina porque por no hay otro contador después de éste, y una vez reseteado el tercer contador, el conjunto de los 3 contadores, reiniciará las cuentas.

Observe que el bloque B012 es el encargado de que cuando alcance su cuenta el contador 3 resetee los contadores 2 y 1.

Hasta este punto alternan las 3 bombas de una en una cada vez que un pulso, aplicado a la entrada, sube. La salida cae sólo cuando cae el pulso.

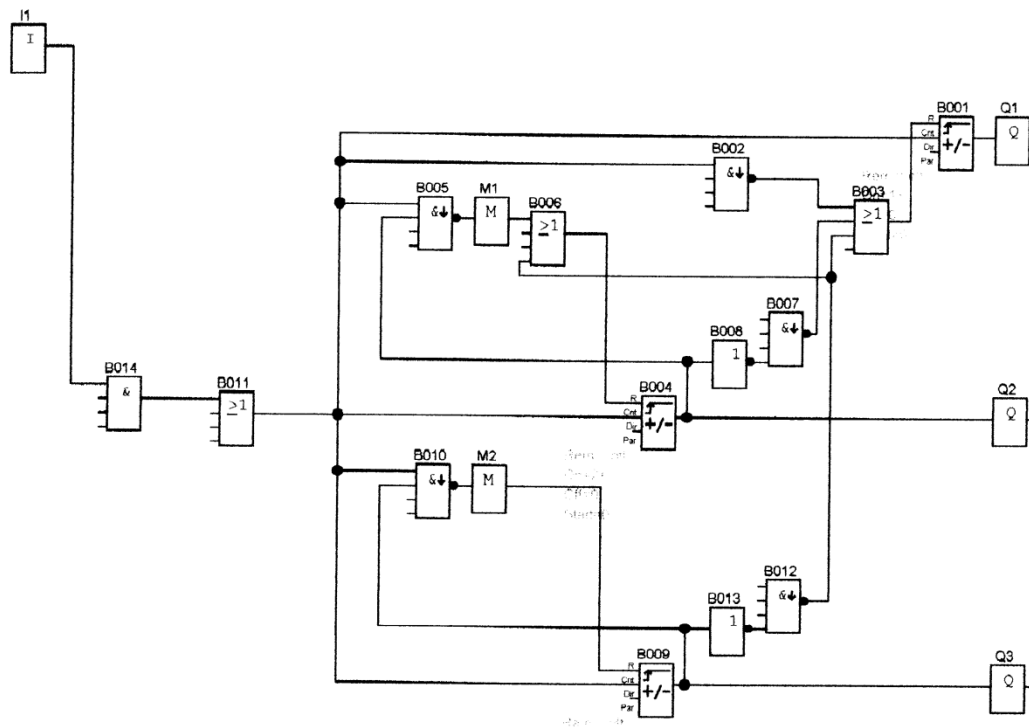


Figura 15. Bloques AND y OR antes de la entrada del contador.

En la figura 15 se muestra los bloques AND, identificados por el bloque B014, y OR, identificados por el bloque B011, ambos colocados en serie a la entrada del circuito contador con el fin de que las señales provenientes de las otras entradas pasen, en forma obligada, por dicho contador.

En la figura 16 se muestra la incorporación, al circuito, de una nueva entrada, la I2, en la cual estará conectado el presostato P1. Cuando I2 se activa I1 ya está con anterioridad activado, lo que nos obliga a implementar un circuito como el mostrado con los bloques B015, B016 y B017

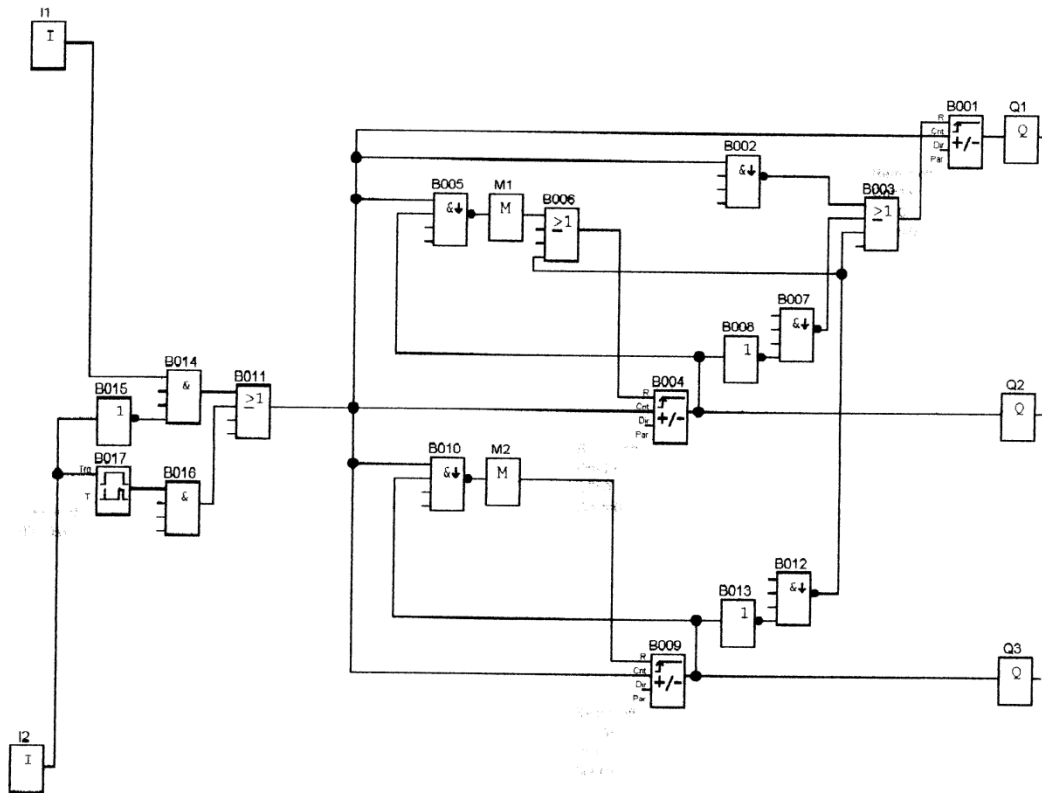


Figura 16. Circuito donde se incorpora la entrada I2 al esquema.

Cuando la entrada I1 está activada la entrada del contador se encuentra en alto también, por lo tanto al activarse la entrada I2 podrá ser reconocida a la entrada del contador si la señal de I1 se hace caer a 0 lógico y la de I2 sube 1 lógico con un pequeño retardo. Esto hace que el contador vea a la entrada que cuando se activa I2 estando I1 activada el pulso a la entrada del contador baje y suba con un pequeño retardo, permitiendo al contador contar el pulso que está en la entrada I2.

En la compuerta OR, a la entrada del contador, siempre habrá una sola señal que será la de la última entrada en activarse. Este mismo circuito se repetirá por igual para todas las entradas.

Al activarse y desactivarse repetidamente la entrada I2 entra una bomba por vez y se va rotando. Pero esta acción no es suficiente pues al activarse I2, que

corresponde al presostato 1, deberá adicionar una bomba a la que estaba funcionando.

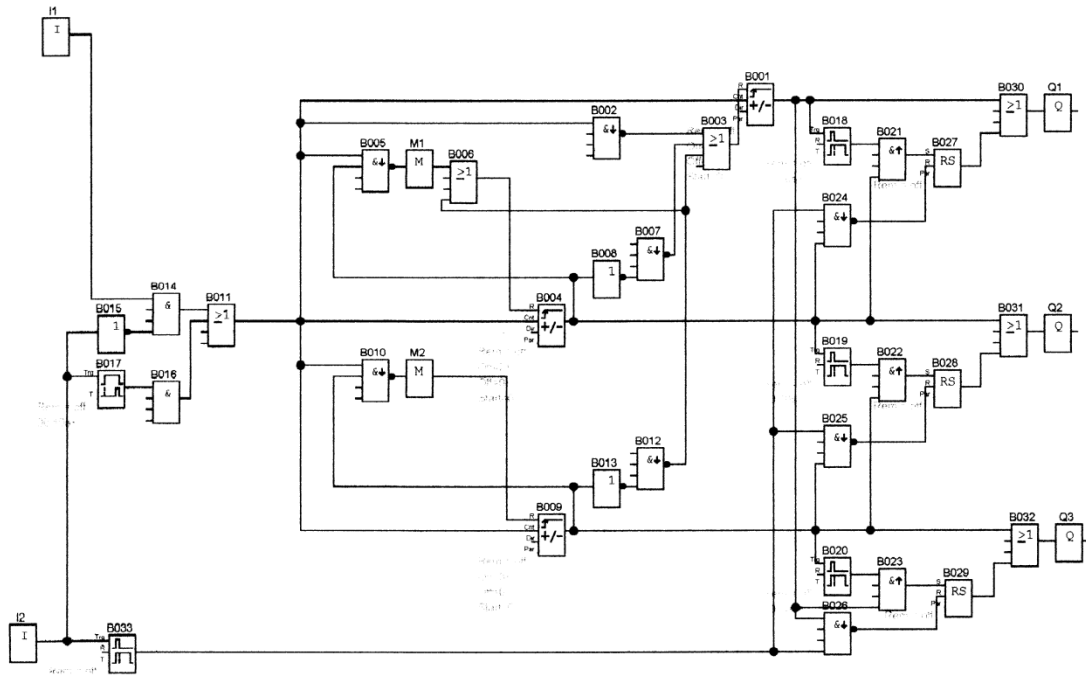


Figura 17. Incorporación de circuito aditivo para una bomba al activarse I2.

Para adicionar la bomba cuando se activa I2 deberá retenerse la que estaba trabajando primero, esto se consigue haciendo que la salida del contador se temporice para desconectarse, B018, y luego se pase las dos salidas consecutivas del circuito contador por un AND con flanco de subida, B021, introduciéndose luego a la entrada S del bloque RS, B027, que posteriormente la envía a un OR, B030, para activar nuevamente la salida Q1. El reset del bloque RS se logra retardando la salida de I2 con el bloque B033 y haciendo la función NAND con flanco de bajada, B024, con la última salida del contactor y luego llevándola hasta la entrada reset del bloque RS, B027. Este circuito se repite tres veces en el esquema; obsérvelo en la figura 17.

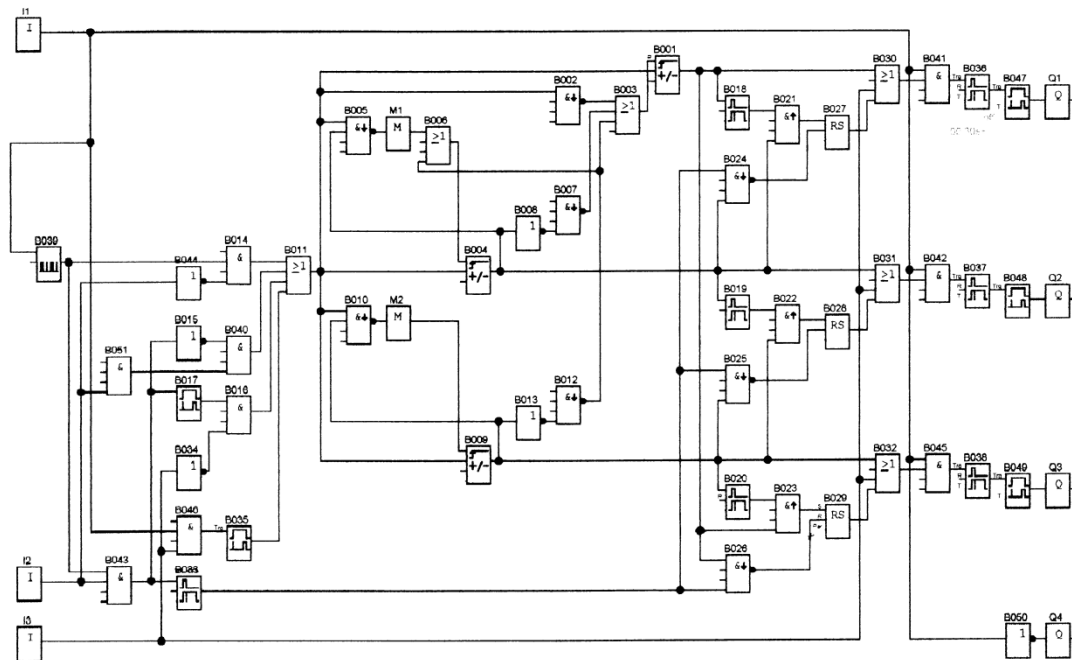


Figura 18. Esquema final. Se incorpora: I3 correspondiente al presostato P2, el reloj del sistema y la salida de tanque vacío, T.V.

El circuito de entrada se modifica, de la forma como se había presentado en la figura 16, para dar entrada al reloj, bloque B039, el cual hará el cambio en el sistema cada 4h, toda vez, tal como se dijo anteriormente, que éste se encuentra en la columna I o II de la figura 9.

Cuando $I1 = 1$ e $I2 = 0$ el reloj cambia la única bomba que se encuentra funcionando; esto se logra con los bloques B014 y B011.

Cuando $I1 = 1$ e $I2 = 1$ se adiciona una bomba a la que estaba funcionando, ahora hay dos. Si $I2$ sale y entra, las bombas alternarán, ocurriendo lo mismo cuando el reloj alcance la cuenta de 4h. Los bloques B017, B016, B015, B040, B043, B044, B014 y B011 permiten ejecutar esta acción.

La entrada del presostato 2, P2, se implementa con el terminal I3, y al igual a como se hizo con I2 se introduce al contador para hacer el cambio de la cuenta,

necesario cuando estén dadas las condiciones de regreso a la columna II, figura 8; esto se hace a través de los bloques B034, B016, B046, B035 y B011. También se hace pasar esta misma señal a las salidas donde están los bloques OR, B030, B031 y B032, para activar las 3 salidas simultáneamente, pues éste es el único estado de la columna III, figura 9. Además se incorporó en cada salida bloques de temporización para hacer las conexiones y desconexiones.

Estando todas las entradas activadas, $I1 = 1$, $I2 = 2$ e $I3 = 1$, se encontrarán tres bombas funcionando, y al agotarse el agua del tanque subterráneo se abre el flotante, $I1 = 0$, poniendo las salidas de los bloques AND B041, B042 y B045 a cero, lo que hace que todas las bombas se apaguen con retardos distintos a través de los bloques B036, B0037 y B038, todos estos bloques están colocados hacia las salidas en la figura 17. Esto se hace con el fin de que los cambios de los esfuerzos en las tuberías sean lo menos brusco posible para evitar daños, sobre todo en sistemas con tuberías viejas.

Cuando regresa el agua, $I1 = 1$, los presostatos están activados pues el sistema está despresurizado, y las bombas arrancarán una detrás de otra con los retardos introducidos a las salidas por los bloques de retardo a la conexión B047, B048 y B049.

4.4. ESQUEMA ELÉCTRICO FINAL COMPLETO DEL TABLERO ELÉCTRICO.

En la figura 19 se muestra el diagrama de potencia del tablero para el sistema de presión constante, en el cual los componentes son los siguientes:

3 Interruptores General Electric de la serie Spectra RMS Mag-Break con frame para 150A y unidad electrónica de 150A, $I_{cc} = 100kA$.

3 Contactores marca Fanal, modelo DSL 93, bobina 220V AC, 90A AC3.

3 Relés térmicos marca Fanal, modelo K65D, rango de ajuste 55...80A clase 20.

El diagrama de control del tablero se muestra en la figura 20 con los siguientes componentes:

- 1 Breaker magneto térmico de control 3x6A, marca AEG, serie E90.
- 1 Supervisor trifásico marca Gente, modelo Genius I.
- 3 Selectores Manual-Cero- Automático, marca Telergón, modelo T – 400.
- 3 Lámparas de marcha (verde) de 22mm, bombillo de neón.
- 3 Lámparas de térmico disparado (roja) de 22 mm, bombillo de neón.
- 1 Lámpara de Tanque Vacío (TV) de 22mm (roja), bombillo de neón.
- 1 Módulo electrónico, marca Siemens, modelo Logo.

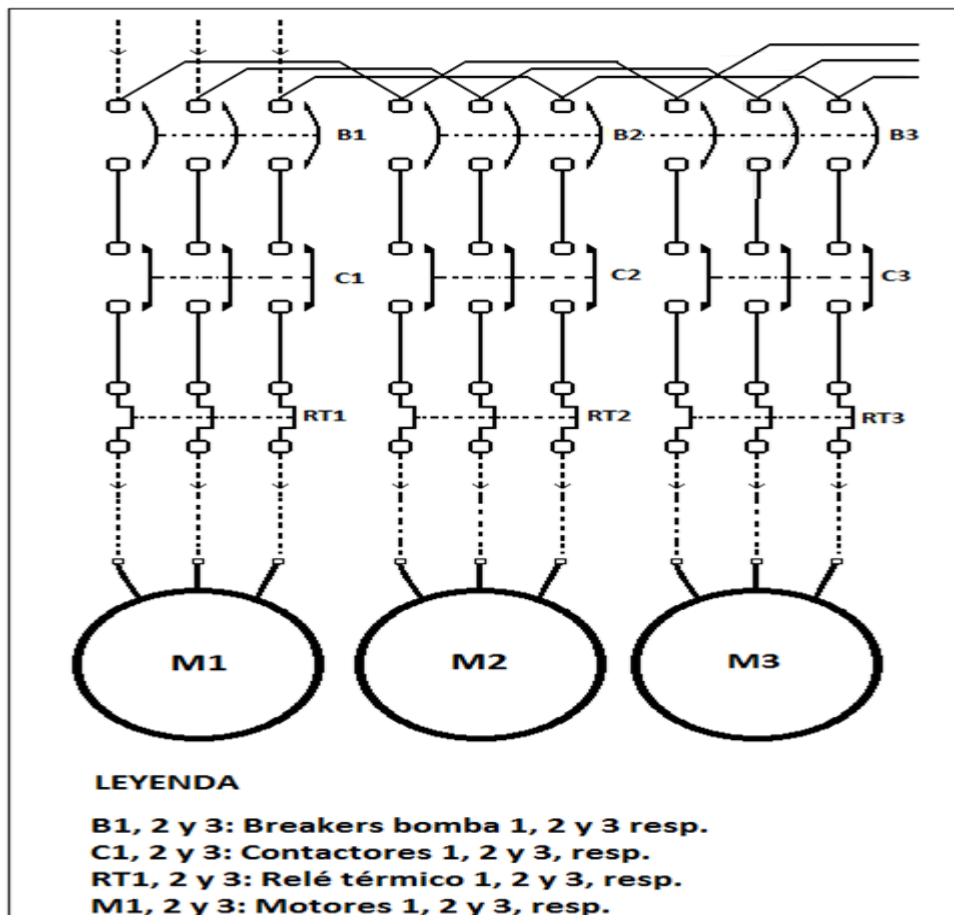


Figura 19. Circuito de potencia para tablero de 3 bombas presión constante.

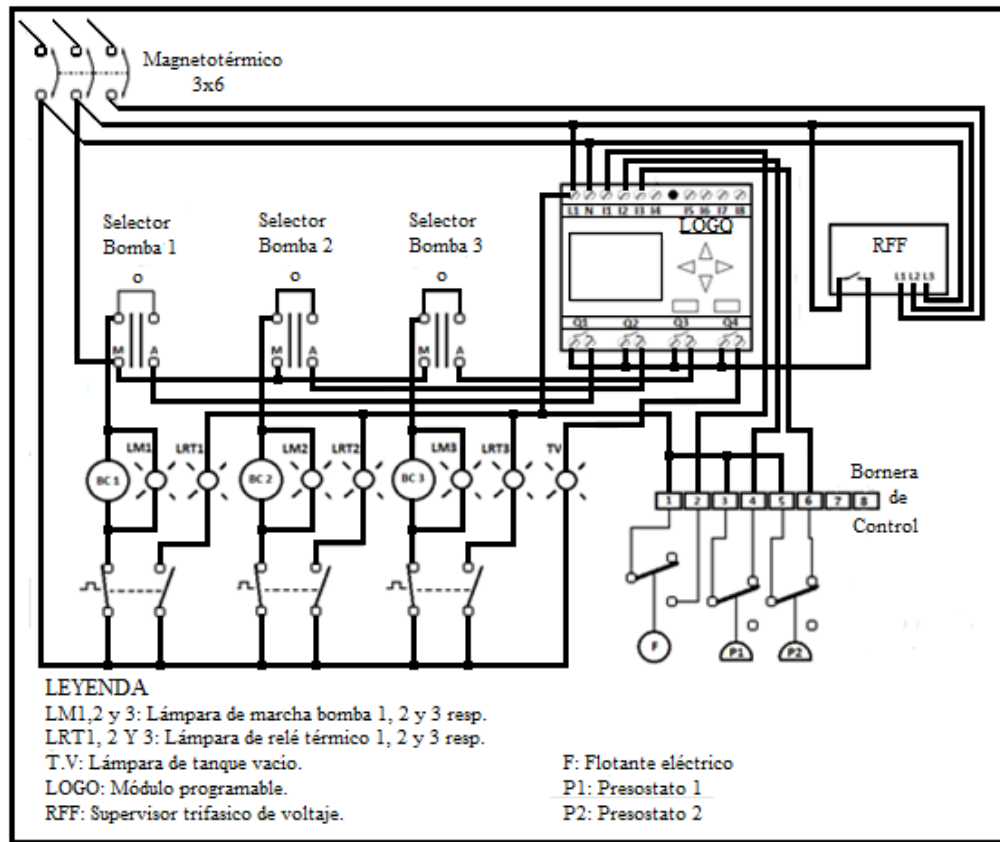


Figura 20. Circuito de control para tablero de 3 bombas presión constante.

CONCLUSIONES

En definitiva se pudieron determinar por completo todos los materiales y equipos eléctricos, tal como se ha descrito en el cuerpo de esta tesis, para el diseño de un tablero de control y potencia de 25HP para equipo de presión constante; siendo todos estos de fácil ubicación en el mercado nacional. Cada uno de los componentes tiene especificaciones suficientemente claras, que podría, en caso de agotarse alguna existencia, determinarse el componente equivalente en cualquiera de las otras marcas, que también están representadas en el país.

Aunque no se pudo conseguir las curvas de par para una bomba típica, se logró determinar una protección adecuada asumiendo el tiempo de arranque en 3 segundos, partiendo de que el pico máximo ocurre durante los primeros 5 a 8 ciclos del voltaje aplicado y que su comportamiento sigue la evolución de la corriente de arranque presentada en la gráfica que muestra la figura 2, y asumiendo además, que la aceleración de la velocidad, durante ese período, es constante.

Obteniéndose de esta forma la protección completa contra sobrecargas y cortocircuitos, pues se determinó la protección combinada necesaria: la termo magnética, muy adecuada para estos casos de arrancadores.

El diagrama lógico de compuertas desarrollado con el programa LOGOSoft Comfort es muy versátil, puede rotar las bombas, además de con el reloj, al activarse los presostatos colocados en la línea de presión; superando así, ampliamente, la lógica implementada con relés electromecánicos.

Es flexible, pues muchos de sus parámetros se pueden ajustar para el momento de la puesta en marcha del equipo. Resultando muy conveniente, por

ejemplo, en las temporizaciones de entrada y salida y ajustes del reloj, ya que dispone de pantalla y teclado.

El tamaño del tablero diseñado es más reducido, pues aunque otros componentes se mantienen como los breakers, contactores y térmicos, para el caso de la alternación de 3 bombas se requieren al menos 6 relés electromecánicos de 6 contactos cada uno, más 3 relés temporizadores; esto más o menos exige un espacio con cableado, por cada relé, de 12cmx12cm. Para 9 relés el espacio requerido será de 108cmx21cm aproximadamente. Considerando que el tamaño del módulo electrónico se aproxima al de un relé, la reducción es de 9 a 1 en lo que respecta al lugar ocupado por la lógica, pues la misma se ha logrado reducir a un solo dispositivo: el módulo electrónico.

RECOMENDACIONES

Como una forma más clara de ver todas las bondades con que cuenta el equipo diseñado, es recomendable llevarlo a las siguientes fases: construcción, instalación y puesta en marcha.

Durante la etapa de construcción se podrá palpar lo muy comercial que es la fabricación del diseño.

Su instalación deberá ser igual a la de los equipos anteriores, pues cuenta con los mismos componentes externos, un tamaño un poco más reducido y algo más liviano.

Para la puesta en marcha se deberá proceder en forma bastante sencilla, como la de cualquier otro equipo eléctrico, pues el módulo arranca en forma automática al estar energizado, como si hubiese regresado la luz. A lo más requerirá algunos ajustes de temporización que se pueden hacer por su propio teclado, sin necesidad de volver a la oficina.

Con la presencia del módulo electrónico el número de contactos de la lógica pasa de aproximadamente 50 a 4, que es el número de salidas usadas en esta aplicación; esto indica que el mantenimiento se reduce en forma sustancial.

De esta manera se podría comprobar en la práctica todas las fortalezas y debilidades, si las hubiera, con que cuenta el equipo diseñado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Oñós Prados, Enrique. Maniobra mando y control eléctricos, (Libro),--Barcelona: España: Ed. CEAC, S.A., 1976, p.734

[2] Manual LOGO Edition 03/2009. Industry Sector, Industrial Automation Systems. Siemens AG. Nurnberg, Germany,p.p.105-135

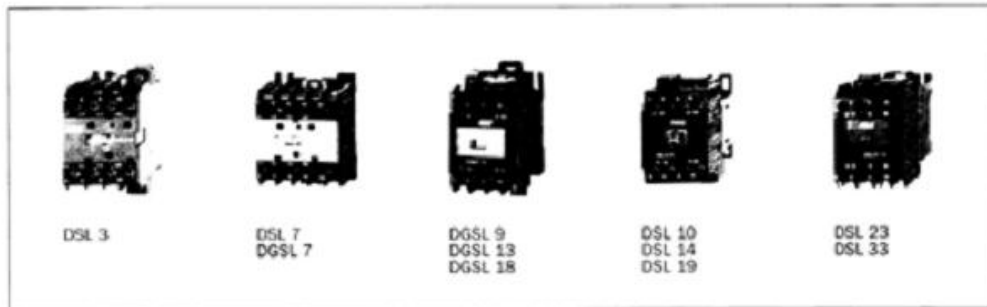
BIBLIOGRAFÍA

- Kosow, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores, 2da. Ed. España: Reverté, S.A., 1974.
- Manual Spectra RMS. Molded Case Circuit Breakers. GE Consumer and Industrial Electric Distribution. 2008.
- Manual Switch And Control Gear. FANAL Elektrik GmbH. G & S Group.
- Manual Aparatos de Maniobra de Baja Tensión. Contactores. Relés Térmicos de Sobreintensidad. AEG.
- Manual de Instalaciones y Mantenimiento de Motores Eléctricos. WEG MOTORS & DRIVERS.
- FONDONORMA (200:2004). Código Eléctrico Nacional – Caracas: Convenio de Elaboración de Normas FONDONORMA – CODELECTRA. 7ma. Rev.

ANEXOS

[ANEXO 1]

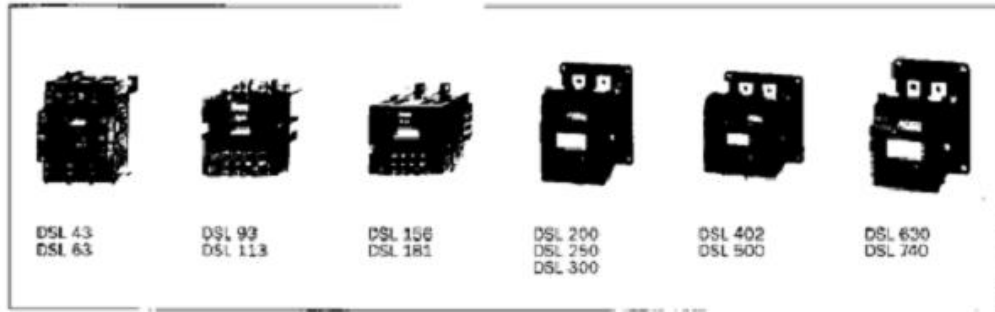
Summary and technical data of contactors DSL 3 to DSL 740



■ Motor contactors AC operated DC operated		Type	DSL 3	DSL 7 DGSL 7	DSL 10 DGSL 9	DSL 14 DGSL 13	DSL 19 DGSL 18	DSL 23	DSL 33
■ Main current paths									
Rated insulation voltage		U _i	690	690	690	690	690	690	690
Rated impulse withstand voltage		U _{imp}	6	6	6	6	6	6	6
A0 1 Rated operational current I _N up to 50 °C, 3 pole, open up to 60 °C, 3 pole, open		A	20 16	20 16	20 16	20 16	25 20	25 26	40 30
Three phase rating when switching non-inductive or slightly inductive loads and resistance ovens		230 V 400 V 500 V 690 V	kW kW kW kW	7.5 13 17.5 22	7.5 13 17.5 22	7.5 13 17.5 22	9.5 16 22 28	13 23 30 33	15 26 39 45
AC 3 Rated operational current I _N open and enclosed 50 ... 60 Hz		230 V 400 V 500 V 690 V 1000 V	A A A A A	6.5 4.5 4 3 -	8.5 8.5 8.5 5 -	8.5 8.5 8.5 7 -	12 12 10 8 -	16 16 13 9 -	22 22 19 15 -
Starting squirrel-cage motors, switching motors off while running		230 V 400 V 415 V 500 V 690 V 1000 V	kW kW kW kW kW kW	1.5 2.2 2.2 3 4 -	2.2 4 4 5 5.5 -	2.2 4 4 5 5.5 -	3 5.5 5.5 6.5 7.5 -	4 7.5 7.5 11 12.5 15	6 11 11 15 15 15
Continuous current			A	10	10	20	20	25	30
single phase		115 V 230 V	hp hp	1/3 1/4	1/3 1/2	1 2	1 2	1.5 3	2 5
three phase		230 V 400 V 575 V	hp hp hp	2 3 5	3 5 7.5	3 5 7.5	3 5 7.5	5 7.5 10	7.5 10 15
Capacitive load		230 V 400 V 415 V 500 V	kvar kvar kvar kvar	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	4.5 8.5 8.5 8.5	7 12.5 12.5 12.5
Permissible rated power when directly switching individual power-factor compensation capacitors		230 V 400 V 415 V 500 V	kvar kvar kvar kvar	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	4.5 8.5 8.5 8.5	7 12.5 12.5 12.5
Rated making capacity		400 V	A	100	115	180	200	220	300
Rated breaking capacity I _b		400 V 500 V 690 V	A A A	70 60 80	85 70 65	120 70 70	145 85 70	160 105 75	250 280 175
Electrical life ①		Ad 1 at rated operational current I _N	x 10 ⁶ switching cycles	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
		Ad 3, AC 4		AC 3 and AC 4 life curves Page 40					
Mechanical life ②			x 10 ⁶ switching cycles	10	10	10	3	3	3
Max. switching frequency ③			s/h	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Losses in current paths, 3-pole when loaded I _N to AC 3			Approx. W	5	5	3.3	3.3	5	6
when loaded I _N to AC 3 at 400 V			Approx. W	0.5	0.9	0.6	1.2	1.2	2
Max. fuse rating ④ w VDE 0641-IEC 249, as device protection			A	25	25	25	35	35	50

① As defined in DIN VDE 0660 Part 102
 ② With low loading
 ③ Basis for routine testing

[ANEXO 2]



DSL 43	DSL 63	DSL 93	DSL 113	DSL 156	DSL 181	DSL 200	DSL 250	DSL 300	DSL 402	DSL 500	DSL 630	DSL 740
690 V	690 V	750	750	750	750	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
75	85	125	140	180	200	400	400	400	600	600	900	900
40	60	100	105	150	160	320	320	320	500	500	700	700
20	32	48	53	70	75	95	120	145	170	190	270	320
50	56	82	92	130	130	165	210	250	295	335	470	600
65	74	110	120	155	170	210	250	310	370	415	550	690
85	97	145	160	200	220	275	360	430	510	575	810	890
45	63	90	110	150	160	212	233	244	354	433	611	702
48	63	90	110	150	180	196	239	283	352	437	613	669
45	63	90	90	130	160	187	232	281	354	448	616	717
32	42	60	68	100	120	172	214	234	335	397	510	599
-	-	-	-	-	-	94	113	141	173	190	221	313
125	15	25	30	45	55	63	75	90	115	132	200	230
32	30	48	48	74	90	110	132	160	200	250	315	400
25	33	48	60	79	95	120	140	170	218	270	344	430
30	40	55	60	90	110	132	160	200	260	320	410	520
30	40	55	60	90	110	147	210	260	330	390	520	600
-	-	-	-	-	-	132	180	200	290	275	336	455
75	85	95	110	180	200	400	400	400	600	600	900	900
5	5	75	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.5	10	25	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	20	30	30	60	75	75	100	200	150	200	250	300
25	30	50	78	125	150	150	200	200	300	400	500	600
50	60	65	100	125	150	200	250	250	400	500	600	700
10	14	18	25	40	50	80	110	110	165	165	250	250
17	25	33	48	74	90	140	195	195	290	290	435	435
17	25	33	45	75	90	145	200	200	300	300	450	450
22	30	40	55	100	115	175	240	240	365	365	545	545
450	730	1100	1300	1900	2200	2800	2800	3600	5200	5000	9000	9000
540	850	1600	1900	2650	2800	3400	3000	3000	4200	4600	7800	7800
450	500	650	900	1500	1800	2600	3000	3500	4200	4600	7400	7400
150	450	600	670	900	1020	2400	2800	2600	3800	4000	6500	6500
0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5
3000	3000	3000	2000	2000	3000	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
12	15	22	27	35	30	125	125	125	185	185	292	292
6	6	11	18	17	23	33	49	60	82	92	168	198
80	125	250	250	400	400	400	400	400	500	500	800	800

Ⓢ CSA 300 A
 Ⓣ CSA 725 A
 Ⓡ Basis for routine testing

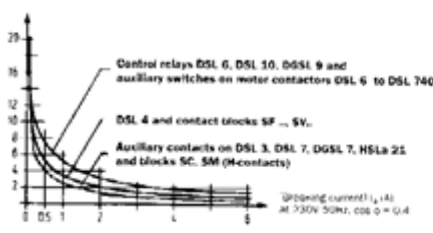
[ANEXO 3]

Selection of contactors for switching conditions Electrical life of contacts ...

... for control relays and auxiliary switches on motor contactors

Utilization Category AC 15

(Switching cycles) $\sim 10^6$



Control relays DSL 6, DSL 10, DDSL 9 and auxiliary switches on motor contactors DSL 6 to DSL 740

DSL 4 and contact blocks SF ... SV.

Auxiliary contacts on DSL 3, DSL 7, DGSL 7, HSLa 21 and blocks SC, SM (4-contacts)

(Switching current I_s (A))
at 230V 50Hz, cos $\phi = 0.4$

Utilization Category DC 13

DSL 4, DSL 6, DSL 3, DSL 7, DGSL 7, DSL 9, DGSL 9, contact blocks SC ... SM ... SF ... SV ... and auxiliary switches on motor contactors DSL 9 to DSL 740

$T_{on} = 6 \cdot P \leq 300 \text{ ms}$

U_n DC	No. of poles in series		
	1	2	4
24 V	3 A	4 A	6 A
60 V	0.7 A	2 A	4 A
110 V	0.25 A	0.6 A	2 A
220 V	0.1 A	0.3 A	0.6 A

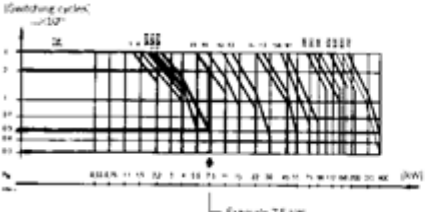
Max. switching frequency
1200 switching cycles/h

... for motor contactors

Utilization Category AC 3

Operating characteristics:
Switching on: From standstill ($6 \times$ Rated motor current)
Switching off: Whirl running ($1 \times$ Rated motor current)

(Switching cycles) $\sim 10^6$



Example 7.5 kW

Details of contact life are based on actuating devices which switch in a random manner, i.e. not synchronously to the mains supply phase position.

Typical applications:

Compressors	Elevators	Mixers
Pumps	Escalators	Stirrers
Blowers	Conveyors	Centrifuges
Sluices	Barrels	Air conditioning

General drives on manufacturing and processing machinery

Example: 7.5 kW
DSL 18: 0.5×10^6 switching cycles (500 thousand)
DSL 23: 2×10^6 switching cycles (2 million)

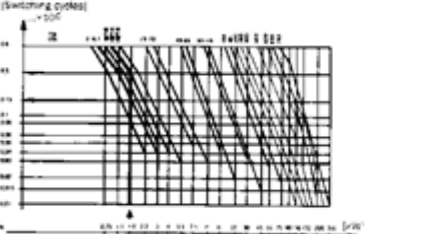
Max. switching capacity
600 switching cycles/h

... for motor contactors

Utilization Category AC 4

Operating characteristics:
Inching, reverse-power braking, plugging
Switching on: $6 \times$ Rated motor current
Switching off: $6 \times$ Rated motor current

(Switching cycles) $\sim 10^6$



Example 7.5 kW

Typical applications:

- Printing presses
- Wire-drawing machines
- Centrifuges
- General drives on manufacturing and processing machinery

Example: 1.5 kW
DSL 7: 0.15×10^6 switching cycles (150 thousand)
DSL 13: 0.3×10^6 switching cycles (300 thousand)

Max. switching capacity
120 switching cycles/h

[ANEXO 4]

Supervisores trifásicos GENIUS

GENIE

Relé de supervisión trifásica Genius I

Aplicaciones

El supervisor trifásico GENIUS I es un dispositivo electrónico construido con base a un microcontrolador. Utilizado para la protección de motores y cargas trifásicas contra los efectos producidos por fallas o perturbaciones en el suministro de la energía eléctrica.

Características generales

- Supervisor trifásico con microcontrolador.
- Señalización de fallas a través de indicadores luminosos.
- Protección contra:
 - Alto/bajo voltaje.
 - Desbalance de voltaje.
 - Pérdida de una fase.
 - Secuencia invertida.
- Cuatro (4) ajustes manuales con escala numérica: mínimo voltaje, máximo voltaje, tiempo de desconexión y conexión.
- Diseñado en concordancia con normas IEC y UL.

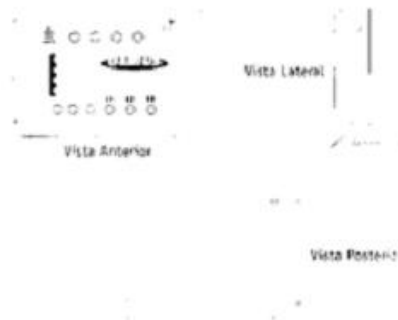


Especificaciones técnicas

Voltaje de operación según modelo	117, 208/220, 380 y 440/480.
Frecuencia de operación	60Hz.
Ajuste de voltaje mínimo permitido	-30% al 100% Vn.
Ajuste de voltaje máximo permitido	100% al +30% Vn.
Desbalance de voltaje	8 % fijo.
Exactitud de la escala	± 4.5 %.
Ajuste del tiempo de conexión	3 a 200 seg.
Ajuste del tiempo de desconexión	0.5 a 5 seg.
Modo de Operación	Automático.
Capacidad de salida	SPDT 1.5 A @ 250Vac y 1.5 A @ 480 Vac.
Número de operaciones eléctricas	120.000.
Terminales	Bornes.
Temperatura de operación	-5 a +55°C.
Humedad relativa máxima	85%.
Medidas	124 x 91 x 42 mm.
Peso	225 grs.
Materiales de la carcasa	ABS.

* 50 hr bajo pedido.

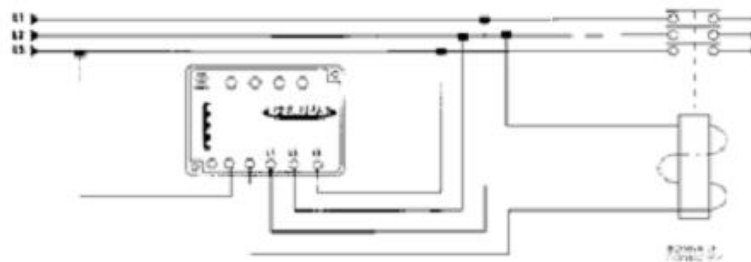
Dimensiones



Modelos:



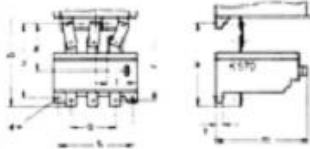

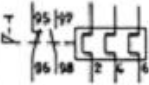


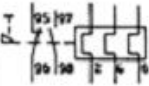
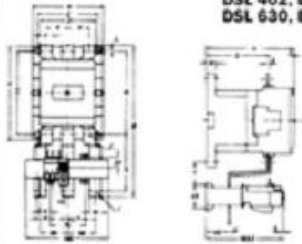

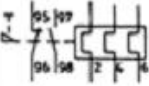
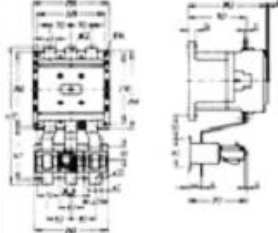
- GI 117 Vac
- GI 208 /220 Vac
- GI 380 Vac
- GI 440/480 Vac

Esquema típico de conexión



[ANEXO 5]

Overload relays in ranges between 40 to 60 A and 450 to 750 A Product ranges K67D, K187D, K401D, K740D

Type	Description	Terminals	Overload relays for direct fitting on contactor type: Dimensions in mm
 K67D	Overload relays with features: <ul style="list-style-type: none"> • Free tripping • Temperature compensation • Sensitive to loss of phase • Function-test button • Adjustable for manual/automatic reset • Finger protection to VDE 0106 Part 100 • Approval in standard execution 		C 001 A 051 MT DSL 93, DSL 113, DSL 156, DSL 181  Width 115 Depth 124.5
 K187D	Adjustment: <ul style="list-style-type: none"> • To Full Load Current for Direct on-line starting • To $0.58 \times$ Full Load Current for Star-Delta starting 		C 001 A 051 MT DSL 156, DSL 181  Width 130 Depth 195.5
 K401D			C 189 A 001 MT DSL 200, DSL 250, DSL 300 DSL 402, DSL 500 DSL 630, DSL 740 
 K740D			C 189 A 002 MT DSL 630, DSL 740 

[ANEXO 6]

Type for ordering	Setting range A ... A	Max. fuse rating gL A main oct	Approx. weight kg	Kits for overload relays	
				Type for ordering	Description
K67D	40 ... 60	125	1.1	-	Kit for separate mounting not needed
	55 ... 80	160			
	70 ... 100	200			
	90 ... 130	250			
K187D	100 ... 150	400	3	TM 187	Kit for separate mounting of overload relay
	140 ... 200	400			
K401D	120 ... 200	400	1	TM 401	
	190 ... 315	630			
	240 ... 400	630			
K740D	378 ... 630	630 aM	2.5	TM 740	
	450 ... 750	630 aM			