



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE
GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

TEMA:

**"ESTUDIO DE UN SISTEMA DE CONTROL MULTIBOMBAS PARA UN HOTEL
UTILIZANDO UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA"**

Previa la obtención del Título

INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO

ELABORADO POR:

❖ **JULIO CESAR PACHECO LOAIZA**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el estudiante, JULIO CESAR PACHECO LOAIZA como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO.

Ing. Luis Córdova.

TUTOR

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Armando Heras Sánchez



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

JULIO CESAR PACHECO LOAIZA

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación denominado " **ESTUDIO DE UN SISTEMA DE CONTROL MULTIBOMBAS PARA UN HOTEL UTILIZANDO UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA**", ha sido desarrollado con base a una investigación íntegra, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del trabajo de titulación referido.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

AUTORIZACIÓN

JULIO CESAR PACHECO LOAIZA

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del proyecto titulado: "**ESTUDIO DE UN SISTEMA DE CONTROL MULTIBOMBAS PARA UN HOTEL UTILIZANDO UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA**", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad y autoría.

GUAYAQUIL, 25 DE SEPTIEMBRE DEL 2015

El Autor

JULIO CESAR PACHECO LOAIZA

DEDICATORIA

A Dios, que me dio la fortaleza me ha sabido guiar cuando estado a punto de caer y haberme dado el impulso y la constancia para seguir adelante; por todo esto y con toda la humildad que nace de mi corazón, dedico mi trabajo al todopoderoso.

De la misma manera, dedico esta tesis a mis padres, que han logrado formarme e impartirme con buenos sentimientos y valores; por lo que ellos han sido un pilar y un apoyo fundamental para encontrarme ya culminando mis estudios.

A mi familia en general, ya que me han brindado su apoyo incondicional y compartir conmigo buenos y malos momentos.

A los profesores de la Facultad Técnica, quienes a través de su conocimiento y enseñanza que me fueron transmitidos, lograron que culmine este trabajo de forma exitosa.

AGRADECIMIENTO

A mis Padres y en general a toda mi familia por todo el apoyo y amor, que me ha inspirado, me ha dado las fuerzas para avanzar y llegar a ser un profesional.

A mi esposa e hijo ya que han sido muy importantes en todo momento, y el aliento que me han sabido proporcionar para seguir adelante y ser siempre un ejemplo y orgullo a seguir.

A mis profesores de la FETD, a sus autoridades y en especial al Ing. Luis Córdova, quien como tutor, pudo guiarme para culminar de forma correcta el presente trabajo de graduación.

El Autor

JULIO CESAR PACHECO LOAIZA

RESÚMEN

En este proyecto se plantea elaborar un estudio de un sistema de control multibombas para un hotel utilizando un modelo de optimización energética.

El estudio se realizó bajo un muestreo en varios hoteles midiendo la presión del agua, utilizando instrumentos de medición adecuados entre ellos un Manómetro, obteniendo como resultado presiones bajas y al no existir un control de caudal, se sugiere implementar un sistema que controle estas variables.

Este Sistema Multibombas utilizará un variador de frecuencia CFW -08 y un MiniPLC incorporado en el equipo, con lo que se mejorará considerablemente la deficiencia de presión y caudal que según los resultados obtenidos de la investigación son bajos y al mismo tiempo contribuye al ahorro energético y mediante la implementación de grifos inteligentes que ayuden a controlar el desperdicio del agua.

En este sistema multibombas se explica cómo tendremos el control de más de una bomba requiriendo para este caso un Variador de frecuencia CFW -08 para controlar la presión y caudal. El Variador escogerá las bombas que se accionarán en el sistema para mantener, distribuir y controlar la presión de salida de un sistema de bombeo. También se da un control de rotación entre las bombas dando así la posibilidad, de que todas tengan un uso equitativo alargándole su vida útil.

ABSTRACT

In this project it is proposed to develop a study of a monitoring system multipump using a model for energy optimization hotel.

The study was conducted under a sampling at several hotels by measuring the water pressure using suitable measuring instruments including a pressure gauge, resulting in low pressures and the absence of a flow control, it is suggested to implement a system to monitor these variables.

This Multipump System uses a frequency inverter CFW -08 and MiniPLC incorporated into the team, so deficiency of pressure and flow rate according to the results of the research are low while contributing to energy savings and considerably improve by implementing smart faucets to help control the waste of water.

In this multipump system it explains how we control more than one pump in this case requiring an inverter CFW -08 to control the pressure and flow. The drive will choose to be powered pumps in the system to maintain, distribute and control the output pressure of a pumping system. Rotation control is also provided between the pumps thus giving the possibility that all have equitable use holding out his life.

ÍNDICE GENERAL

1. Contenido	página
CAPÍTULO 1:	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.5 HIPÓTESIS.....	3
1.6 METODOLOGÍA.....	3
CAPÍTULO II	4
2. TECNOLOGÍAS DE UN SISTEMA MULTIBOMBAS	4
2.1 CONCEPTUALIZACIÓN GENERAL.....	4
2.2 SISTEMAS DE CONTROL.....	4
2.3 MODELOS MATEMÁTICOS DE CONTROL.....	6
2.4 SISTEMAS MULTIBOMBAS.....	8
2.5 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA MULTIBOMBAS.....	9
2.6 CONTROLADORES.....	11
2.7 BOMBAS HIDRÁULICAS.....	13
2.8 TIPOS DE BOMBAS.....	14
2.9 VARIADORES.....	16
2.10 DIAGRAMA EN BLOQUES DE UN VARIADOR.....	17
2.11 VARIADOR DE FRECUENCIA CFW-08.....	18
2.12 SENSORES DE NIVEL DE AGUA.....	21

2.13 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA MULTIBOMBAS.....	23
2.13.1 FUNCIONAMIENTO DEL PLC EN UN SISTEMA MULTIBOMBAS	23
2.13.2 MOTORES UTILIZADOS	24
2.13.3 Entradas.....	24
2.13.4 Dos Cables	24
2.13.5 PROTECCIÓN.....	25
2.13.6 SALIDAS	26
2.13.7 MODIFICACIÓN DE LOS DATOS DE ARRANQUE	27
2.13.8 MOTOR FIJO	29
2.13.9 MONITOREO.....	31
2.14 FUNCIONAMIENTO DEL VARIADOR EN UN SISTEMA MULTIBOMBAS	32
2.14.1 HMI Remota Paralela	33
2.14.2 HMI Remota Serie	33
2.14.3 SOFTWARE.....	34
2.14.4 Descripción de la tarjeta Multibombas	36
2.14.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS ELECTROBOMBAS.....	37
2.15 INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LA PROGRAMACIÓN DEL PLC	39
2.15.1 EJEMPLOS BÁSICOS DE PROGRAMACIÓN	40
CAPÍTULO III.....	46
3. Funcionamiento y características del CFW-08 implementado en el Sistema.....	46
3.1 Descripción de elementos requeridos para el Sistema MULTI BOMBEO.	47
3.1.1 ELEMENTOS PARA EL SISTEMA HIDRONEUMÁTICO	48

3.2 Análisis del consumo generado por el hotel y del ahorro propuesto en este proyecto.....	49
3.3 Análisis de los diferentes sistemas de control de agua existentes.....	50
3.4 DISEÑO LOS DIAGRAMAS ELÉCTRICOS EMPLEADOS POR EL SISTEMA DE CONTROL CFW-08.....	51
3.4.1 DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA MULTIBOMBAS.	51
3.4.2 DISEÑO DEL SISTEMA MULTIBOMBAS.	53
3.5 DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL CONTROL PARA EL SISTEMA MULTIBOMBAS.	56
CAPÍTULO IV.....	58
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
4.1 CONCLUSIONES	58
4.2 RECOMENDACIONES.....	59
5. BIBLIOGRAFÍA.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Diagrama de Sistema de Control	5
Fig. 2.2 Modelo de Sistema Lineal.....	6
Fig. 2.3 Función de Transferencia	7
Fig. 2.4 Función de Transferencia	7
Fig. 2.5 Diagrama de bloques simplificado el sistema multibombas	8
Fig. 2.6 Esquema de un PLC.....	13
Fig. 2.7 Bomba sumergible.....	14
Fig. 2.8 Bomba centrífuga	15
Fig. 2.9 Esquema de un Variador de Frecuencia	16
Fig. 2.10 Diagrama de bloques de un variador	17
Fig. 2.11 Diagrama de Conexiones del Variador	20
Fig. 2.12 Sensor de Nivel con Flotador XT/800	21
Fig. 2.13 Sensor de Nivel Ultrasónicos Pepperl Fuchs.....	22
Fig. 2.14 Bloque de Función MMC - Multimotor.....	23
Fig. 2.15 Motor 3 no utilizado	24
Fig. 2.16 Accionamiento de dos cables	25
Fig. 2.17 Entrada de protección	25
Fig. 2.18 Sensores en Sistemas de Bombeo.....	26
Fig. 2.19 Salidas de arranques y de by-pass Función Software PLC – SoftPLC.....	27
Fig. 2.20 Modificación de datos del Motor 1	28
Fig. 2.21 Modificación de datos no Utilizados	28
Fig. 2.22 Motor 3 fijo Función Software PLC – SoftPLC.....	29
Fig. 2.23 Condiciones mínimas de funcionamiento	30
Fig. 2.24 Monitoreo de las entradas y salidas digitales	31
Fig. 2.25 Monitoreo de un bloque MMC.....	32

Fig. 2.26 Conexión HMI remota paralela.....	33
Fig. 2.27 Conexión HMI remota Serie	34
Fig. 2.28 Software SuperDrive.....	34
Fig. 2.29 Conexión en redes	36
Fig. 2.30 Curvas y Datos de Prestaciones de la Bomba.....	38
Fig. 2.31 Programación en Escalera Ej.1.....	41
Fig. 2.32 Programación en Escalera Ej.2.....	42
Fig. 2.33 Programación en Escalera Ej.3.....	43
Fig. 2.34 Programación en Escalera Ej.4.....	44
Fig. 2.35 Programación en Escalera Ej.5.....	44
Fig. 2.36 Teclas del Programador	45
Fig. 3.1 Consumo actual de un hotel.....	49
Fig. 3.2 Consumo proyectado con implementación del sistema Multibomba	49
Fig. 3.3 GRÁFICA COMPARATIVO DE CONSUMOS	50
Fig. 3.4 Conexiones del Sistema Multibombas.....	52
Fig. 3.5 Esquema del Sistema Multibombas	53
Fig. 3.6 Esquema del Sistema Multibombas del Edificio.....	54
Fig. 3.7 Conexiones Eléctricas de Potencia para el Control Multibombas móvil.....	56
Fig. 3.8 Conexiones Eléctricas de Comandos para el Control Multibombas móvil.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Prestaciones de la Bomba	37
Tabla 2 Rangos de operación de la Bomba	37
Tabla 3 Características Constructivas de la Bomba.....	37

CAPÍTULO 1:

1. INTRODUCCIÓN

El país actualmente cuenta con varias empresas que apuestan por la inversión hotelera y mucho más en el sector industrial sin embargo la inversión requerida es considerable es por esto que es en este proyecto se plantea optimizar en cierto modo uno de los gastos que se considera demasiado elevados por no tener un sistema que permita tener el control de uno de los servicios de primera necesidad llámense a estos el de agua y de luz dando como resultado una mejor calidad de servicio y un ahorro considerable de energía y de agua, es por esto que se propone con este proyecto un Estudio de un Sistema de control Multibombas para que así se empiece hacer conciencia del ahorro necesario que se deba hacer hoy en día y no perjudicar a futuras generaciones y a más de eso contribuir con el medio ambiente y que este proyecto tenga un impulso para poder implementarlo a través no solo de las grandes empresas sino también a los domicilios tradicionales.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la mayoría de los hoteles existentes en nuestro país se detecta el inconveniente de tener poca presión y caudal de agua en los baños de las habitaciones, producto de instalaciones sanitarias diseñadas de manera poco eficientes.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Realizar Estudio de un Sistema de Control Multibombas mediante un Variador de Frecuencia CFW-08 que incorpora un PLC, para mejorar el servicio y eficiencia energética de los hoteles.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Analizar el funcionamiento y características del CFW-08 implementado en el Sistema.
- ❖ Describir los elementos que se requiere para este Sistema MULTI BOMBEO.
- ❖ Analizar el consumo generado por el hotel y comparar con el ahorro propuesto en este proyecto.
- ❖ Analizar los diferentes sistemas de control de agua existentes.
- ❖ Diseñar los diagramas eléctricos empleados por el sistema de control CFW-08.
- ❖ Diseñar un sistema multibombas controlado automático optimizando la energía eléctrica de consumo.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años debido al crecimiento del turismo en el País y la alta demanda de la Industria Hotelera la mayoría de los Hoteles siempre se encuentran en su máxima capacidad por lo que es necesaria la implementación del Control para un Sistema Multibombas para el control de los servicios básicos que estos ofrecen.

Dependiendo de cada área existente en el hotel que requiera este tipo de sistema se realizara un estudio independiente.

1.5 HIPÓTESIS

La implementación de este sistema se logrará mejorar la calidad de servicio, beneficiara a los empresarios y todos los usuarios que hagan uso de los hoteles que tengan implementado este tipo de sistema al mismo tiempo ayudara a mejorar el medio ambiente evitando el desperdicio del líquido vital.

1.6 METODOLOGÍA

Es investigativa y descriptiva, debido a que se plantea los hechos de manera objetiva para obtener una mejor perspectiva de la realidad de las necesidades que se requieren, se detallan la configuración de los distintos dispositivos a utilizarse en este proyecto y de la selección adecuada de cada uno de ellos, para así poder dar los mejores resultados a los problemas expuestos, la recopilación y búsqueda de información fue de tipo documental, fundamentada con los principios básicos del control y automatización.

CAPÍTULO II

2. TECNOLOGÍAS DE UN SISTEMA MULTIBOMBAS

2.1 CONCEPTUALIZACIÓN GENERAL

En nuestro medio se está implementando el Control Automático en la mayoría de los procesos, se puede definir como el conjunto de componentes físicos enlazados entre sí, de la cual haya un ordenador que regularice su función automática, sin depender de elementos externos, dándonos también en tiempo real su funcionamiento y fallos posibles en el transcurso de su ejecución.

Son innumerables las aplicaciones en las que se puede emplear los sistemas automatizados, aunque en nuestro medio está más enfocado a la parte industrial puesto que a su elevado costo de implementación aun no llega a los hogares; teniendo exclusiva trascendencia con los avances científicos y tecnológicos.

2.2 SISTEMAS DE CONTROL

Un sistema de control es un componente de varios elementos que pueden intervenir en la actividad de un sistema, cuyo objeto es el de manipular las variables a controlar y tener como resultado los valores deseados como variables de salida.



Fig. 2.1 Diagrama de Sistema de Control

Fuente: <http://www.infoagro.com>

Los elementos que conforman un sistema de control básico se pueden considerar:

- Los elementos de entrada o sensores: Son los que captan los valores externos de las variables a controlar.
- Controladores: Son los que captan las señales emitidas por los sensores y modifica las variable de control mediante ordenes o parámetros programados o requeridos.
- Actuadores: Son los elementos que ejecutan la acción realizada por los controladores y cambian las variables de control.

Estos sistemas de control tienen como propósito la de garantizar la estabilidad si se presentan perturbaciones en el sistema, ser eficientes, ser fáciles de implementar y de operar en tiempo real y por ultimo de optimizar procesos sean estos industriales.

Entre los tipos de sistemas de control tenemos:

- Lazo Abierto: Cuando las variables giran en torno a una sola dirección

- Lazo Cerrado: Cuando existe una retroalimentación a través de los elementos de entradas desde el proceso hasta el sistema de control, siendo este último el de revisar si las acciones ejecutadas a los actuadores se están realizando de manera correcta en el proceso.

2.3 MODELOS MATEMÁTICOS DE CONTROL

Se refieren a una expresión o fórmula que permite representar el comportamiento de un proceso físico en función de las variables que intervienen en un proceso. Básicamente se fundamentan en modelos matemáticos de Ecuaciones Diferenciales.

- **Modelo de un Sistema Lineal:** Se refiere a la Ecuación Diferencial donde la derivada de mayor orden tiene exponente a 1.



Fig. 2.2 Modelo de Sistema Lineal

Fuente: Por el Autor

$U(t)$: Variable de Entrada

$y(t)$: Variable de Salida

t : Variable independiente de tiempo.

- **Función de Transferencia:** En un sistema lineal es la relación entre la variable de salida y la variable de entrada, donde el valor inicial es igual a cero.

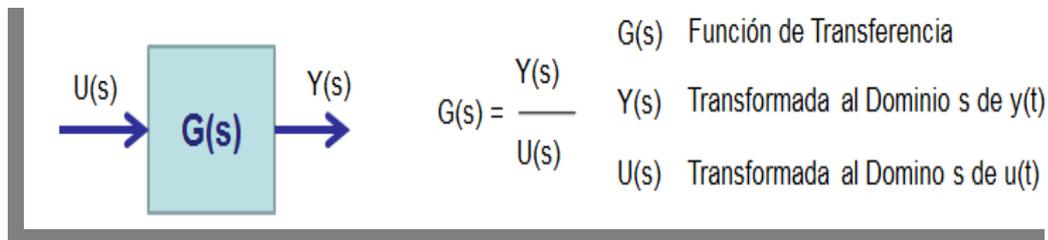


Fig. 2.3 Función de Transferencia

Fuente: *exordio.qfb.umich.mx*

Para este tipo de ecuación se utiliza la Transformada de LAPLACE, con el fin de simplificar los modelos matemáticos de las Ecuaciones diferenciales en ecuaciones algebraicas.

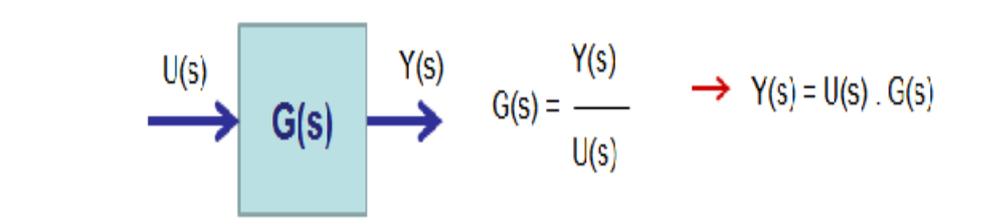


Fig. 2.4 Función de Transferencia

Fuente: *exordio.qfb.umich.mx*

Donde $u(s)$ es el valor detectado o conocido e $Y(s)$ es la respuesta del sistema de dominio s , se puede aplicar la antitransformada de Laplace y se puede la respuesta en tiempo real.

En el caso para hallar $G(s)$ se puede aplicar: función Escalón, Transformada de Laplace de Funciones básicas y Propiedades de las Transformadas de Laplace, y como en todos los procesos que apliquen las Leyes Físicas como: Sistemas Eléctricos, de Nivel y Mecánicos

2.4 SISTEMAS MULTIBOMBAS

Sistema multibombas, este novedoso sistema nos facilita el control de cualquiera de las bombas instaladas utilizando un Variador de Frecuencia con el cual la presión y el caudal del sistema está debidamente reguladas.

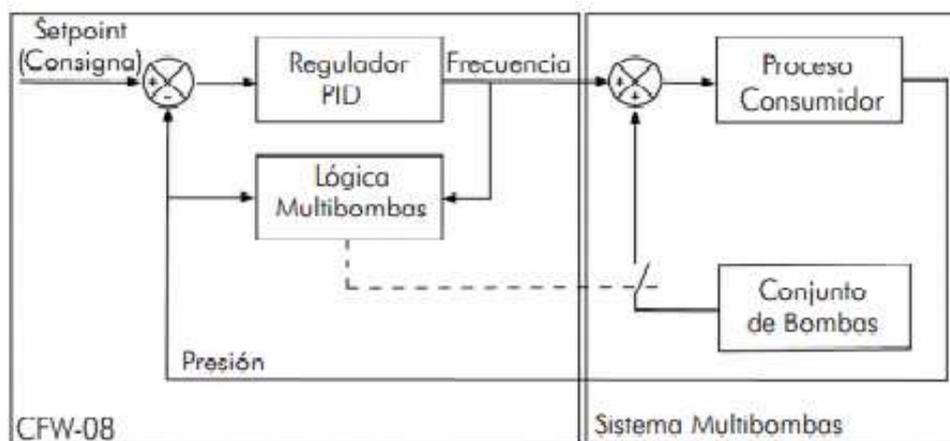


Fig. 2.5 Diagrama de bloques simplificado el sistema multibombas

Fuente: (<http://ecatalog.weg.net/>, 2012)

El convertidor de frecuencia selecciona las bombas que funcionaran en el sistema para mantener/controlar la presión de salida del sistema de bombeo. Logra también la rotación entre las bombas posibilitando así, un uso por igual de las mismas.

Para el control de la presión de salida del sistema, se utiliza un controlador PID en conjunto con lógicas de arranque y de parada de las bombas auxiliares,

El sistema puede ser controlado y utilizado de dos modos:

- Control Fijo, donde la bomba con velocidad variable (conectada al convertidor de frecuencia) es siempre la misma;
- Control Móvil, donde la bomba con velocidad variable (conectada al convertidor de frecuencia) es alterada de acuerdo con la necesidad de la variable que se desea controlar en el sistema.

Extraído del Catálogo (<http://ecatalog.weg.net/>, 2012).

2.5 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA MULTIBOMBAS

Una función muy usada en la industria consiste en la operación de varias bombas en paralelo, controladas por un sistema de control de bombas, lo que permite obtener aplicaciones de sistemas de control de presión constante, de nivel constante, y de caudal constante. El sistema se encarga de mantener una presión, nivel o caudal predefinido en forma automática. Para esto se requiere un variador de frecuencia, un controlador de bombas, un arreglo de contactores, un transmisor de presión, un indicador de nivel o medidor de caudal. En algunos casos el controlador de bombas está incluido en el propio variador y permite tres opciones de control para las bombas. (Extraído de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=106>)

A continuación se muestra un ejemplo de las características de un sistema multibombas CFW-11.

- Control de hasta 5 bombas en modo Control Fijo;
- Control de hasta 4 bombas en modo Control Móvil;
- Control del modo de accionamiento de las bombas;

- Control del cambio de la bomba accionada por el convertidor de frecuencia (Control Móvil);
- Rampa de aceleración y de desaceleración para la bomba accionada por el convertidor de frecuencia;
- Límites de velocidad mínima y máxima para la bomba accionada por el convertidor de frecuencia;
- Setpoint (Consigna) de presión del sistema por parámetro o por entrada analógica;
- Selección de hasta dos valores de set point (consigna) de presión comandados por entrada digital;
- Habilitación o no de la bomba a través de entrada digital;
- Ajuste de la ganancia, del offset y del filtro de las señales de control vía entradas analógicas;
- Sistema en modo Dormir (Sleep) o Despertar;
- Llenado de tubería antes de permitir el control de la presión;
- Falla y Alarma para presión de salida mínima (Rompimiento de la Tubería);
- Falla por presión de salida máxima (Estrangulamiento de la Tubería);
- Rotación de las bombas de acuerdo con el tiempo de operación;
- Posibilidad de accionar la bomba del convertidor de frecuencia vía HMI (Modo Local);
- Posibilidad de implementación o de modificación del aplicativo a través del software WLP. (<http://ecatalog.weg.net/> ,2012).

2.6 CONTROLADORES

Un controlador es el elemento que compara el valor medido con el valor requerido, la diferencia de estos dos valores calcula un error, para nuevamente actúe y corrija el error generado. El propósito de un controlador es la de generar la señal de control que permite a la variable controlada sea igual a la señal de referencia.

Existen varios tipos de controladores, entre algunos de ellos tenemos: Controlador lógico programable (PLC), Procesador digital de señales (DSP), Microprocesador, Circuitos integrados programables (PIC), Controladores PID, etc.... Aquí se define el Controlador PID y el PLC; El controlador PID básicamente une tres acciones, **Proporcional**, **Integral** y **Derivativa**; aquí una definición básica de estas acciones:

- - **Acción proporcional (P)**: es la acción que produce una señal proporcional a la desviación de la salida del proceso respecto al punto de consigna.
- - **Acción integral (I)**: es la acción que produce una señal de control proporcional al tiempo que la salida del proceso ha sido diferente del punto de consigna.
- - **Acción derivativa (D)**: es la acción que produce una señal de control proporcional a la velocidad con que la salida del proceso está cambiando respecto del punto de consigna.

- - **Constante de tiempo integral (T_i):** es el tiempo, generalmente expresado en minutos, que debe transcurrir para que la acción integral alcance (iguale o repita) a la acción proporcional.
- - **Constante de tiempo derivativa (T_d):** es el intervalo de tiempo, generalmente expresado en minutos, en el que la acción derivativa adelanta a la acción proporcional.

Cada acción de control tiene una respuesta característica:

- - La acción proporcional varía instantáneamente con el error y alcanza un valor estacionario cuando lo alcanza éste.
- - La acción integral tiene en cuenta la historia pasada del error y se anula cuando se hace cero.
- - La acción derivativa predice los cambios en el error y se anula cuando alcanza un valor estacionario. (UNIVERSIDAD LEON, 2008).

EL PLC en su más clara definición es un Controlador Lógico Programable siendo este un dispositivo electrónico el cual archiva las instrucciones para luego ejecutar las funciones llevando una configuración de secuencia y sincronización para el fácil y amigable control de cualquier proceso.

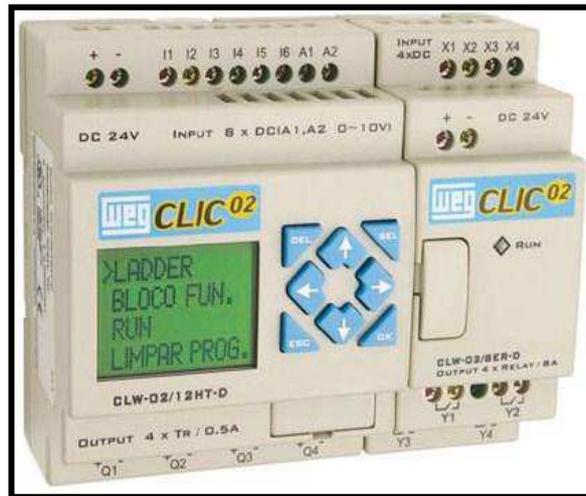


Fig. 2.6 Esquema de un PLC

Fuente: (<http://ecatalog.weg.net/>, 2012).

En la actualidad los PLC son construidos utilizando tecnología de punta en el diseño de microprocesadores y circuitería por lo que nos brinda una alta prestancia en su operación de todas las aplicaciones industriales donde siempre es probable el riesgo debido al medio ambiente, grandes índices de repetitividad, elevadas temperaturas, ruido eléctrico, potencia eléctrica no confiable, etc....

El PLC debido a sus características robustas se encuentra trabajando en su habitat, ya que fue diseñado y concebido para su uso en el medio ambiente industrial.

2.7 BOMBAS HIDRÁULICAS

Las bombas de agua son llamadas también con el nombre de bomba hidráulica. Su propósito y objetivo es transformar la energía mecánica en hidráulica. Se aplica para mantener un líquido en movimiento y así incrementar su presión.

Estos tipos de bombas de agua facilitan solucionar los requerimientos de suministro de agua en muchos campos como la industria, agricultura, edificios, y residencias, etc...

2.8 TIPOS DE BOMBAS

- **Bombas manuales:** este tipo de bombas son accionadas con tracción humana, como por ejemplo las bombas hidráulicas de balancín.
- **Bombas sumergibles:** como su nombre lo dice es una bomba que se sumerge en un líquido predeterminado. Las bombas sumergibles llevan un impulsor sellado o cerrado junto a su carcasa que proporciona impulsar el líquido donde se hayan sumergidas hacia el exterior.

Este tipo de bombas son utilizadas principalmente para el bombeo y extracción de aguas residuales, como el agua de pozos, también utilizadas para piscinas y estanques.



Fig. 2.7 Bomba sumergible.

Fuente: (<http://www.pedrollo.com/>, 2014).

- **Bombas centrífugas:** Este tipo de bombas llevan en un rodete que produce una carga de presión por la rotación del mismo en el interior de una cubierta. Las diferentes clases de bombas se definen de acuerdo con el diseño del rodete, el que puede ser para flujo radial o axial.

Se utiliza para suministro de agua, hidrocarburos, disposición de agua de desechos, cargue y descargue de carro tanques, transferencia de productos en oleoductos.



Fig. 2.8 Bomba centrífuga

Fuente: (<http://www.pedrollo.com/>, 2014).

- **Bombas de agua accionadas con el agua:** este tipo de bombas son accionadas gracias al agua, algunos ejemplos son la bomba noria y la de ariete.

2.9 VARIADORES

Se trata de dispositivos electrónicos, neumáticos, eléctricos y mecánicos que permiten el control completo de motores eléctricos de inducción; los hay de c.c. (variación de la tensión), y de c.a. (variación de la frecuencia); los más utilizados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar (jaula inversores (inverter) o variadores de velocidad. (SEVILLANO CALVO, 2010)

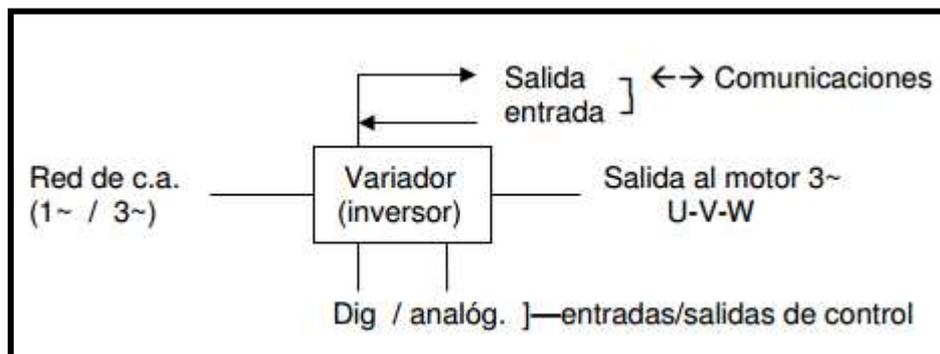


Fig. 2.9 Esquema de un Variador de Frecuencia

Fuente: (Fernando Sevillano Calvo, 2010).

Red de suministro: acometida de c.a., monofásica en aparatos para motores pequeños de hasta 1,5 kw (2 C.V. aprox.), y trifásica, para motores de más potencia, hasta valores de 630 kw o más.

Entradas y salidas (E/S ó I/O): diferentes conexiones de entradas y salidas de control; pueden ser digitales tipo todo o nada (contactos, pulsadores, conmutadores, contactos de relé...) o analógicas mediante valores de tensión (0...10 V o similares) e intensidad (4...20 mA o similares). Además puede incluir terminales de alarma, avería, etc.

Comunicaciones: estos dispositivos pueden integrarse en redes industriales, por lo que disponen de un puerto de comunicaciones, por ejemplo RS-232, RS-485, red LAN, buses industriales (Profibus...) o conexiones tipo RJ-45 o USB para terminales externos y ordenadores. Cada fabricante facilita el software de control, directo o mediante bus de comunicaciones. Que permitirá el control, programación y monitorización del variador (o variadores) en el conjunto de aparatos de control empleados.

Salida: conexión al motor, generalmente de tres hilos (U-V-W) para conexión directa en triángulo o estrella según la tensión del motor.

2.10 DIAGRAMA EN BLOQUES DE UN VARIADOR

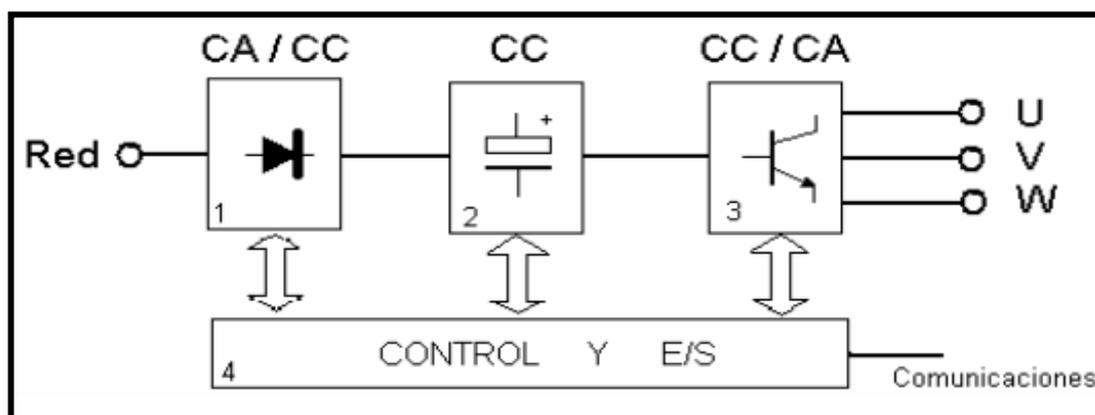


Fig. 2.10 Diagrama de bloques de un variador

Fuente: (SEVILLANO CALVO, 2010)

1.- Rectificador: partiendo de la red de suministro de c.a., monofásica o trifásica, se obtiene c.c. mediante diodos rectificadores.

2.- Bus de continua: condensadores de gran capacidad (y a veces también bobinas), almacenan y filtran el c.c. rectificado, para obtener un valor de tensión continua estable, y reserva de energía suficiente para proporcionar la intensidad requerida por el motor.

3.- Etapa de salida: desde la tensión del bus de continua, un ondulator convierte esta energía en una salida trifásica, con valores de tensión, intensidad y frecuencia de salida variables.

Como elementos de conmutación, se usan principalmente transistores bipolares (BJT), CMOS o similares, IGBT, tiristores (SCR), GTO... etc. Las señales de salida, se obtiene por diversos procedimientos como troceado, mediante ciclo convertidores, o señales de aproximación senoidal mediante modulación por anchura de impulsos PWM.

4.- Control y E/S: circuitos de control de los diferentes bloques del variador, protección, regulación... y entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. Además se incluye el interfaz de comunicaciones con buses u otros dispositivos de control y usuario. (SEVILLANO CALVO, 2010)

2.11 VARIADOR DE FRECUENCIA CFW-08

El CFW-08 Multibombas implementa un regulador PID de velocidad juntamente con una lógica para accionamiento de hasta tres salidas a relé. Estas salidas sirven para activar las bombas conectadas al sistema. De esta manera, el control puede accionar múltiples bombas, siendo que una bomba puede tener

su velocidad variando en todo el rango de operación y las demás bombas son accionadas directamente (On/Off).

La lógica de control para accionamiento de las salidas a relé hace el monitoreo de las variables del proceso para identificar la necesidad de arrancar o de parar las bombas en el sistema de bombeo.

Aplicación del CFW-08 en un sistema con cuatro bombas en control fijo, o sea, el convertidor de frecuencia controla la velocidad solamente de la bomba principal y comanda tres bombas a través de las salidas digitales a relé.

Observar las conexiones del transductor de presión, bien como los accionamientos de las bombas auxiliares con arranque directo, con SSW-07 y con arranque estrella triangulo.

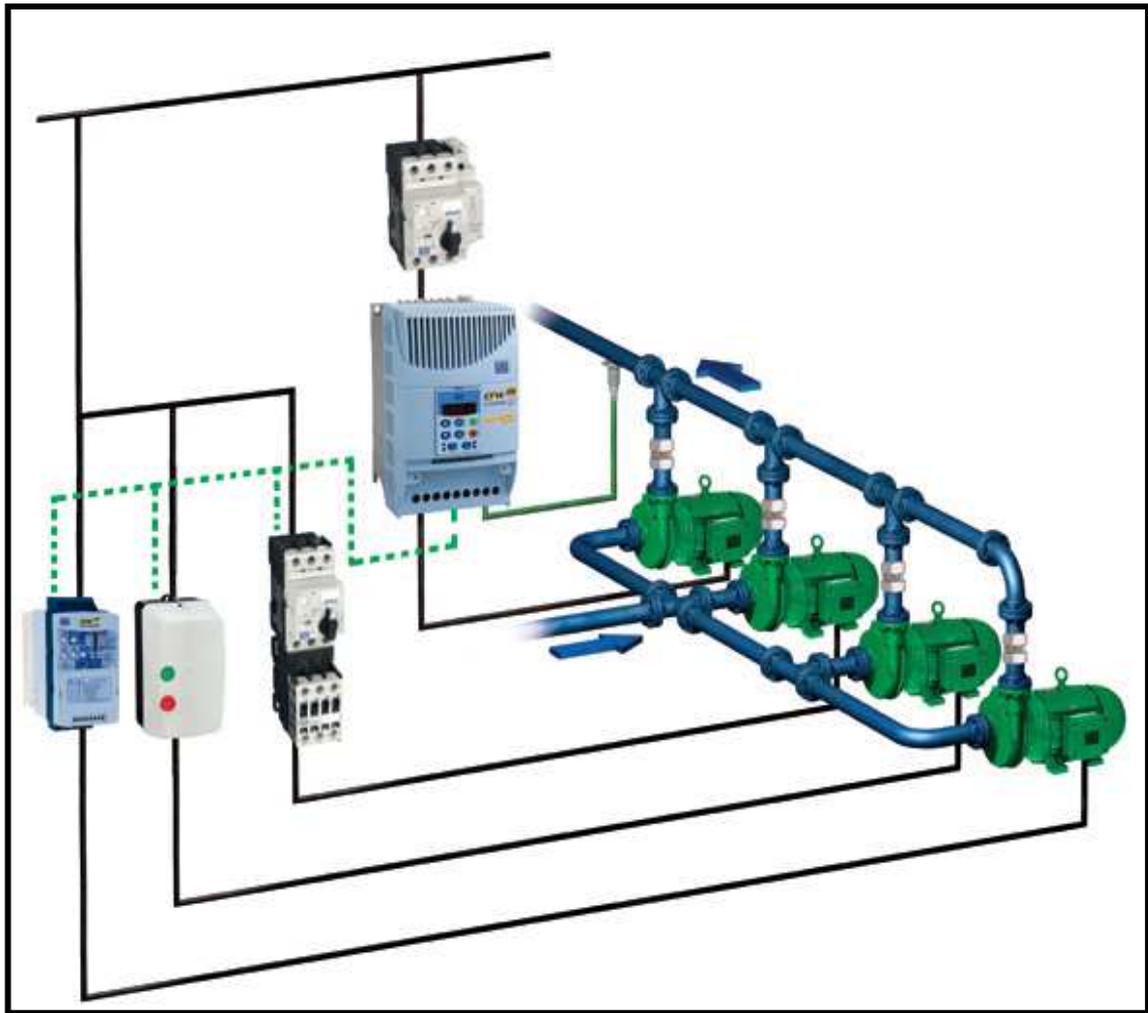


Fig. 2.11 Diagrama de Conexiones del Variador

Fuente: Catalogo (WEG, 2012)

Para el control de la presión de salida del sistema, utilizase un controlador PID en conjunto con lógicas de arranque y de parada de las bombas auxiliares.

Extraído del Catálogo (WEG, 2012).

2.12 SENSORES DE NIVEL DE AGUA

Son dispositivos que se encargan de medir y de mantener controlada la cantidad de líquido dentro de un recipiente, envase o tanques que sean de almacenamiento estos dispositivos son muy utilizados a nivel industrial.

Tenemos una amplia gama de tipo de sensores:

- SENSOR DE NIVEL CON FLOTADOR XT/800

Este transmisor llano continuo de acero inoxidable da una salida análoga y puede ser integrado al sistema por su fiable compatibilidad.



Fig. 2.12 Sensor de Nivel con Flotador XT/800

Fuente: Catalogo (DIRECT INDUSTRY, 2014)

- SENSOR DE NIVEL ULTRASÓNICOS

Este sensor calcula el nivel por el tiempo que demoran los pulsos ultrasónicos en desplazarse desde el sensor hasta el límite del líquido.

Las propiedades físicas o químicas del entorno no trascienden en el resultado de la medición. Por lo tanto se puede medir cualquier tipo de medios agresivos y abrasivos, viscosos y pegajosos.

Esta medición continua de nivel se basa en el tiempo transcurrido de viaje de los pulsos ultrasónicos hasta la superficie del medio y vuelta. Al instalar el sensor, se debe tener en cuenta la distancia típica de bloqueo. Las superficies líquidas agitadas y el cambio de ángulo durante el llenado y vaciado de sólidos granulados afectan a la reflexión de los pulsos ultrasónicos y por lo tanto puede afectar a los resultados de medición.

Extraído del catalogo (PEPPERL FUCHS, 2013)



Fig. 2.13 Sensor de Nivel Ultrasónicos Pepperl Fuchs

Fuente: Catalogo (PEPPERJ FUCHS, 2013)

2.13 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA MULTIBOMBAS

2.13.1 FUNCIONAMIENTO DEL PLC EN UN SISTEMA MULTIBOMBAS

El Arrancador Suave SSW-06 permite funciones de PLC en lenguaje de contacto – “Ladder”, el SoftPLC posee una capacidad de 1k bytes de programa aplicativo.

Con el SoftPLC se puede crear lógicas de enclavamiento, entre las entradas y las salidas digitales, salidas analógicas, lógicas de accionamiento de motores, entre otros.

La función SoftPLC es programable a través del software WLP. El WLP también permite el monitoreo “on-line” del programa desarrollado por el usuario, lo que facilita su implementación. Extraído del catálogo electrónico (WEG, 2013).

BLOQUE DE FUNCIÓN MMC – MULTIMOTOR CONTROL

Para el accionamiento Multimotor fue desarrollado un bloque de función llamado de MMC – “Multimotor Control”, que posibilita, en conjunto con la tarjeta IOS6, el accionamiento automático de hasta tres motores. (WEG, 2013)

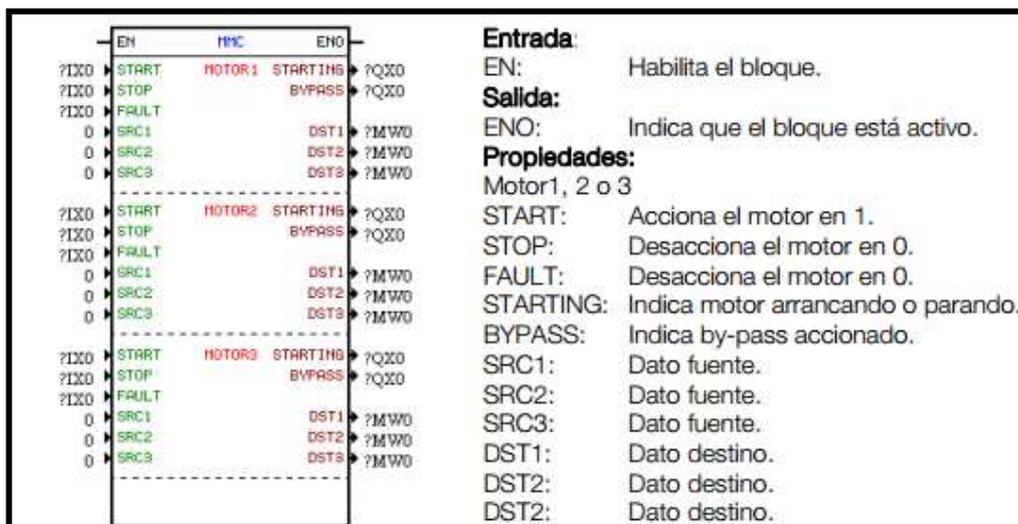


Fig. 2.14 Bloque de Función MMC - Multimotor

Fuente: Catalogo (<http://ecatalog.weg.net/> 2012)

2.13.2 MOTORES UTILIZADOS

El bloque es dividido en tres sub-bloques: Motor 1, Motor 2 y Motor 3, con las características de cada motor. Inicialmente, los motores no utilizados deben ser deshabilitados dentro del bloque, a través de las propiedades de cada motor.

Para tener acceso a estas propiedades basta “hacer doble clic en el bloque”. Extraído del catalogo electrónico (WEG, 2013)

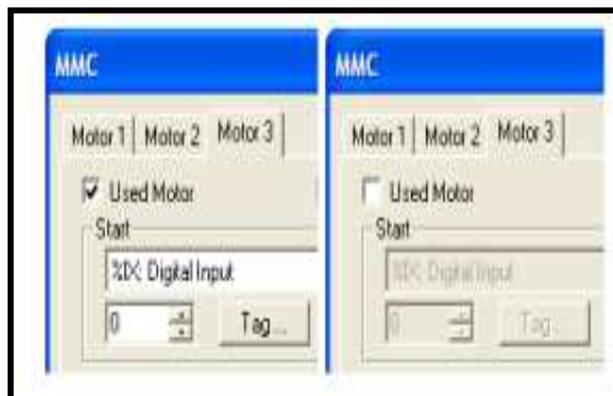


Fig. 2.15 Motor 3 no utilizado

Fuente: (<http://ecatalog.weg.net/>, 2012)

2.13.3 Entradas

La lógica de accionamiento de cada motor es realizada por tres entradas: Start, Stop y Fault. Las cuales posibilitan todo el tipo de lógica de accionamiento, dos y tres cables (WEG, 2013).

2.13.4 Dos Cables

En el ejemplo abajo la entrada digital 7 (DI7=Start) de la tarjeta IOS6 acciona (cerrada) y desacciona (abierta) el Motor 1. Entradas Start, Stop y Fault son programadas para la misma DI. (WEG, 2013)

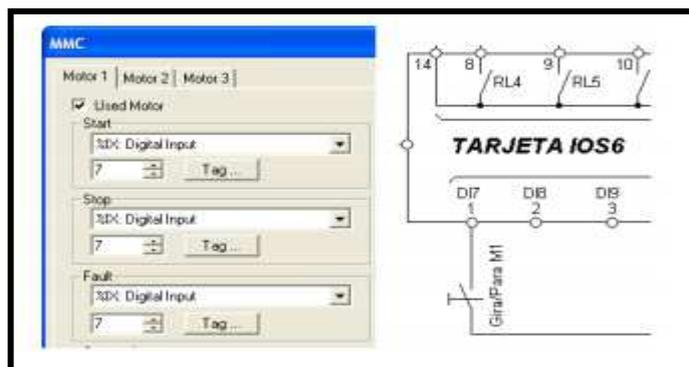


Fig. 2.16 Accionamiento de dos cables

Fuente: (WEG, 2012)

2.13.5 PROTECCIÓN

En el ejemplo abajo la entrada digital 9 (DI9=Fault) posibilita la instalación de algunos tipo de protección, que al actuar (abrir) deshabilitará el motor. Esta entrada Fault solo deshabilita el motor o no posibilita habilitar el motor, no causa fallo en el Arrancador Suave SSW-06. (WEG, 2013)

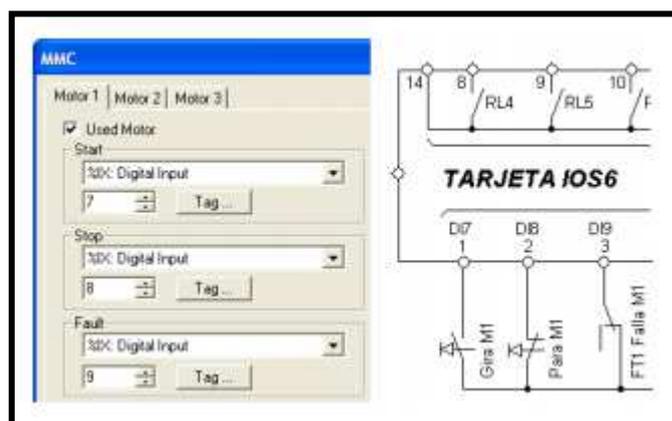


Fig. 2.17 Entrada de protección

Fuente: (<http://ecatalog.weg.net/>, 2012)

Un ejemplo de su utilización es el uso de un sensor de temperatura en el motor, en lo cual, cuando actuado desacciona el motor y al enfriarse permite el accionamiento del motor. Otro ejemplo es el uso de sensores de niveles en los sistemas de bombeos. Cuando el nivel se encuentra alto o bajo ira actuar desaccionando el motor y al regresar al nivel permitido acciona nuevamente el motor. (WEG, 2013)

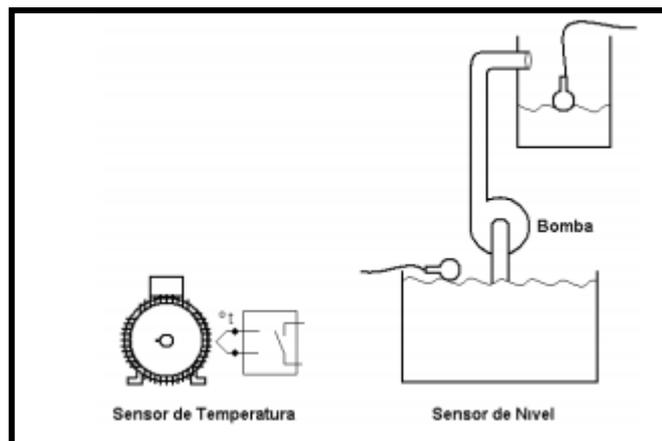


Fig. 2.18 Sensores en Sistemas de Bombeo.

Fuente: Catalogo (<http://ecatalog.weg.net/> ,2012)

2.13.6 SALIDAS

Son utilizadas para accionar los contactores de potencia que irán conectar los motores al Arrancador Suave SSW-06, durante sus arranques y paradas, y en seguida, conectar estos motores a la red de alimentación. (WEG, 2013)

SALIDA DE ARRANQUE Y PARADA

Utilizada para conectar y desconectar los motores al Arrancador Suave SSW-06, durante sus arranques y paradas. por la conexión del Arrancador Suave al motor M1 durante su arranque y parada, cuando se utiliza este motor. (WEG, 2013)

SALIDA DE BY-PASS

Utilizada para conectar los motores directamente a la red de alimentación luego de sus arranques. En el ejemplo de la Figura 3.7 la salida digital 5 (RL5=By-pass) acciona el contactor K3, responsable por la conexión motor M1 a la red de alimentación luego de su arranque. (WEG, 2013)

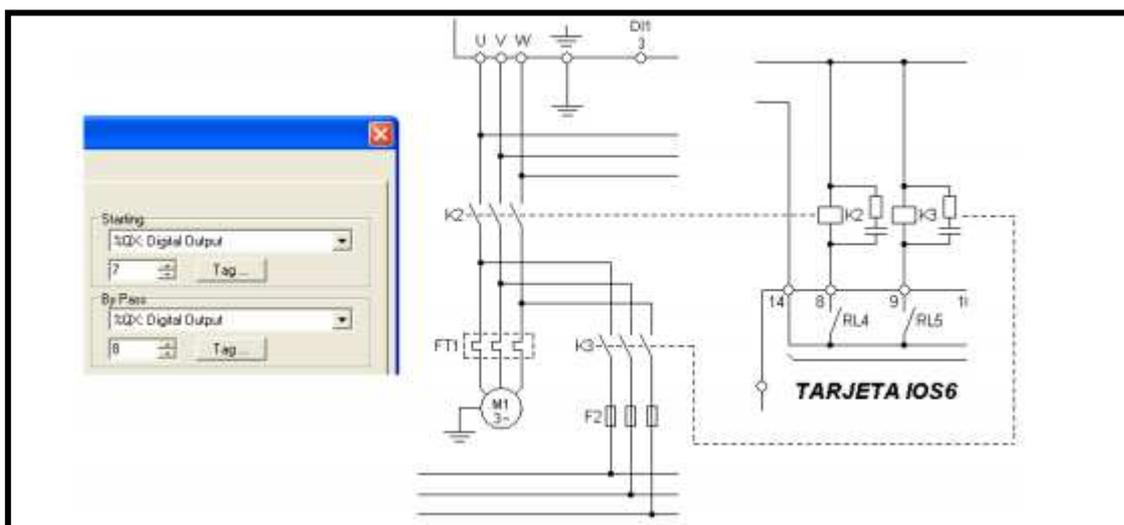


Fig. 2.19 Salidas de arranques y de by-pass Función Software PLC – SoftPLC.

Fuente: Catalogo (<http://ecatalog.weg.net/>, 2012)

2.13.7 MODIFICACIÓN DE LOS DATOS DE ARRANQUE

El bloque MMC posibilita la modificación de hasta tres datos para cada motor. Estos datos son cargados de la fuente para el destino (Source 1, 2 y 3 para Destin 1, 2 y 3), en todo el arranque y parada del respectivo motor.

En el ejemplo abajo la corriente del Motor 1 (P401) es cargada con 100,0A (1000) y la limitación de corriente es cargada con $2,7 \times I_n$ del motor (270). (WEG, 2013)



Fig. 2.20 Modificación de datos del Motor 1

Fuente: Catalogo (<http://ecatalog.weg.net/> ,2012)

- **NO UTILIZADA MODIFICACIÓN DE LOS DATOS DE ARRANQUE**

Cuando no es necesaria la modificación de datos, entre un motor y otro, se debe reservar un Marcador de Word como destino. En el ejemplo abajo el Marcador de Word %MW 8000 fue reservado. Todos los motores utilizados pueden usar este mismo Marcador de Word.



Fig. 2.21 Modificación de datos no Utilizados

Fuente: Catalogo (<http://ecatalog.weg.net/> ,2012)

2.13.8 MOTOR FIJO

A través de esta característica puede ser determinado si, después de la arranque del motor pasado, el Arrancador Suave deba ser “corto-circuitado” con el contactor de by-pass o si debe seguir fijo en el movimiento de este motor. Algunas restricciones para el uso de esta característica existen, como: pero el motor pasado de la secuencia puede ser fijo; todos los motores deben ser arrancados o parados en mismo instante; las entradas de falla deben parar todos los motores en mismo instante. En el artículo 6.3 se demuestra un ejemplo del uso. (WEG, 2013)

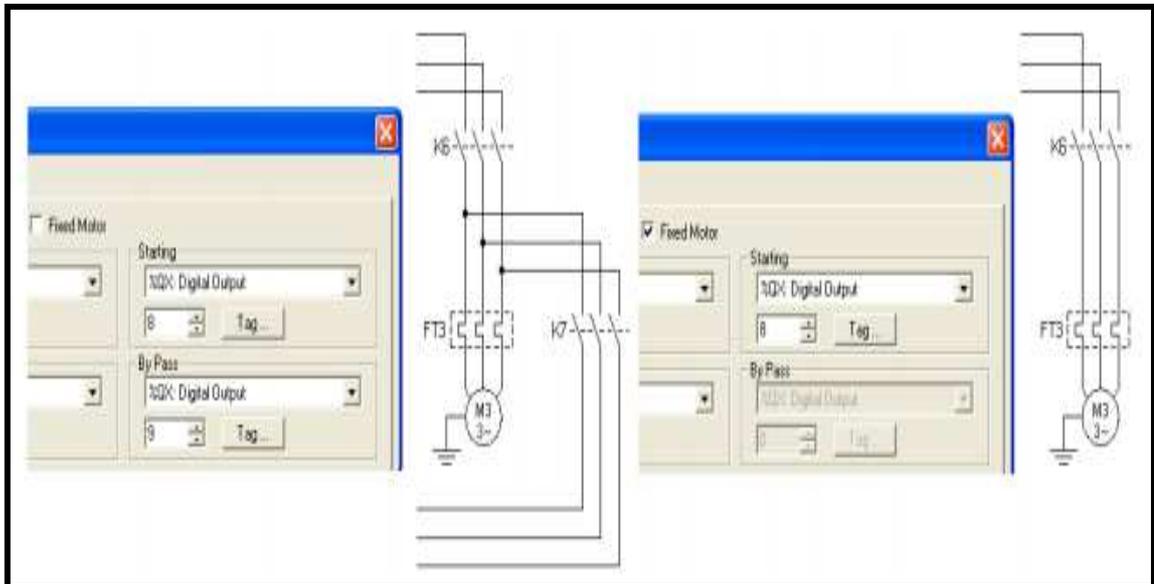


Fig. 2.22 Motor 3 fijo Función Software PLC – SoftPLC.

Fuente: Catalogo (WEG, 2009)

- **CONDICIONES MÍNIMAS DE FUNCIONAMIENTO**

En seguida se presenta un ejemplo de arranque de dos motores con accionamiento a tres cables a través de las DI7 y DI8 para el Motor 1 y DI9 y DI10 para el Motor 2. (WEG, 2009)

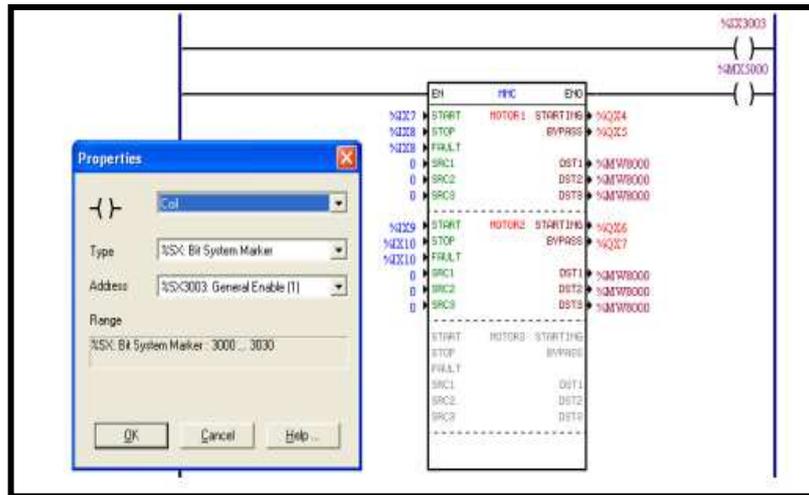


Fig. 2.23 Condiciones mínimas de funcionamiento

Fuente: Catalogo (WEG, 2009)

Para poner este ejemplo en funcionamiento basta seguir los siguientes pasos:

- Adicionar-Bobinas-COIL para Habilita General del Arrancador Suave vía SoftPLC, %SX3003: 1= Habilita General;
- Adicionar-Bloque de Función-MMC;
- Habilitar el bloque MMC en la entrada EN;
- Adicionar-Bobinas-COIL en la salida del bloque MMC – ENO y reservar un Marcador de Bit %MX5000 para esta bobina;
- Programar las propiedades del bloque MMC;
- Los siguientes parámetros deben ser modificados: P140=1, P202=9, P621=0, P950=1 y P951=1. Estos parámetros son detallados en el capítulo siguiente;
- Copilar el proyecto y transferir para el Arrancador Suave. (WEG, 2009)

2.13.9 MONITOREO

El WLP posee monitoreo “on-line” del software aplicativo desarrollado para el SoftPLC, lo que facilita el desarrollo y la verificación de fallos del proyecto. En la Figura 3.12 se presenta el monitoreo de las entradas y salidas digitales. Función Software PLC – SoftPLC. (WEG, 2009)



Fig. 2.24 Monitoreo de las entradas y salidas digitales

Fuente: Catálogo (WEG, 2009)

En la Figura 2.24 se presenta el monitoreo de un bloque MMC, en los que las luces verdes representan las opciones activas y las apagadas las inactivas, teniendo siempre la opción de cambiar la configuración según la necesidad.

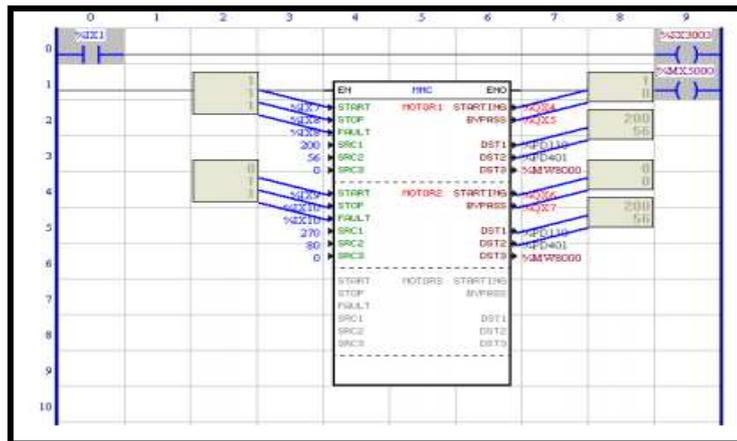


Fig. 2.25 Monitoreo de un bloque MMC

Fuente: Catálogo (WEG, 2009)

2.14 FUNCIONAMIENTO DEL VARIADOR EN UN SISTEMA MULTIBOMBAS

Los Convertidores de Frecuencia son equipos destinados al control de velocidad de motores eléctricos de inducción trifásicos, para una amplia gama de aplicaciones industriales. Con tecnología de última generación y diseño moderno, los Convertidores de Frecuencia permiten una fácil instalación/operación y se adaptan perfectamente a las necesidades de los accionamientos con una excelente relación coste beneficio.

Las familias de Convertidores de Frecuencia WEG han sido proyectadas con software de última generación lo que permite equipos optimizados y una excelente interactividad con el usuario a través de la HMI (Interfaz Hombre Máquina). Extraído del catálogo DIMOTEC (WEG, 2012)

La línea de Convertidores de Frecuencia CFW-08 ha sido proyectada para reunir las más avanzadas características tecnológicas en un producto compacto y de fácil uso (instalación y operación).

Su interactividad con el usuario a través del HMI permite el control de procesos de las mayorías de las máquinas industriales. Además el CFW-08 ofrece la compensación del tiempo muerto que evita inestabilidad en el control del motor y posibilita el aumento del paro en bajas velocidades.

2.14.1 HMI Remota Paralela

- Permite Accionar el CFW-08 en la puerta del armario (tablero) con una longitud máxima de 10 metros.

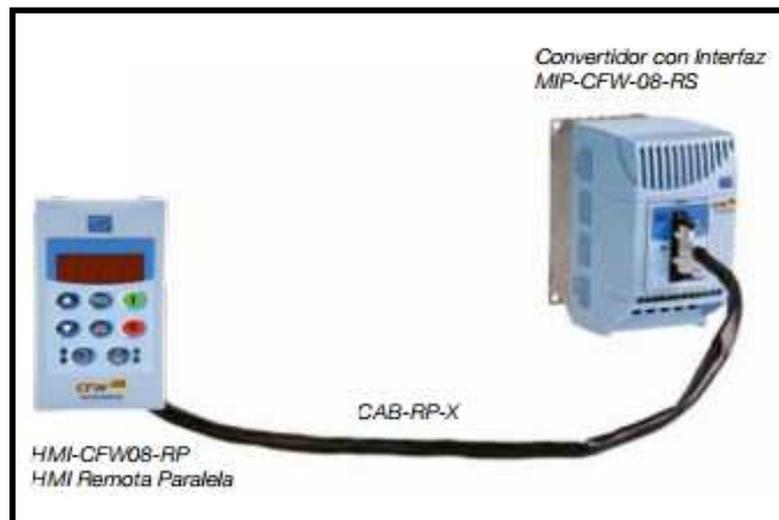


Fig. 2.26 Conexión HMI remota paralela

Fuente: DIMOTEC (<http://ecatalog.weg.net/> ,2012)

2.14.2 HMI Remota Serie

- Permite accionar el CFW-08 en la puerta del armario (tablero) con una longitud máxima de 150 metros (para distancias mayores de 10 metros es necesario una fuente externa 12Vcc/250mA;
- Permite la función "Copy".



Fig. 2.27 Conexión HMI remota Serie

Fuente: DIMOTEC (<http://ecatalog.weg.net/> ,2012)

2.14.3 SOFTWARE

El SuperDrive es un software en entorno Windows que permite parametrizar, controlar y monitorear los convertidores de frecuencia WEG en un PC a través de la comunicación serie (RS-232 o RS-485). Además, permite hacer el “back-up” de los parámetros, documentación del proyecto y monitoreo “on-line” de los parámetros.

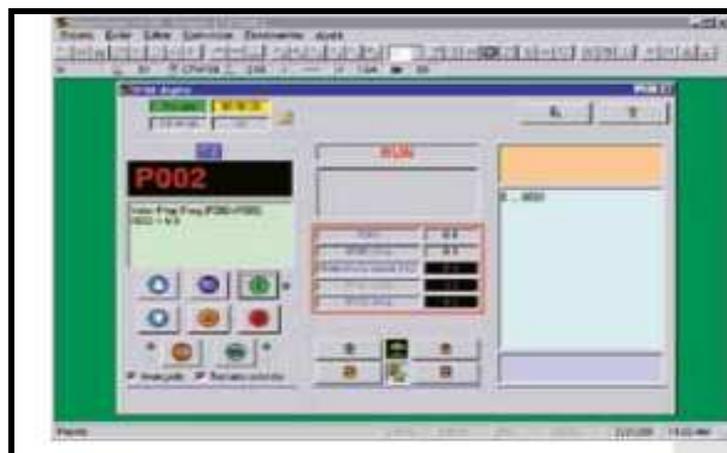
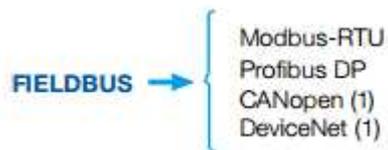


Fig. 2.28 Software SuperDrive

Fuente: DIMOTEC (<http://ecatalog.weg.net/> ,2012)

Los convertidores pueden operar con los más rápidos protocolos Fieldbus de la industria. Las opciones disponibles son:



Destinadas principalmente para integrar grandes automatizaciones de plantas industriales, las redes de comunicación rápidas ofrecen ventajas en el monitoreo y en el control “on-line” de Convertidores de Frecuencia proporcionando un elevado rendimiento y una gran flexibilidad operacional; son características exigidas en las aplicaciones de sistemas complejos y/o interconectados.

El CFW08 puede ser fácilmente conectado en estas redes con los siguientes kits fieldbus:

- Modbus-RTU: KCS-CFW08 (RS-232) o KRS-485-CFW08 (RS-485);
- Profibus DP: KCS-CFW08 o KRS-484-CFW08 conectado a un Gateway MFW-01 / PD para Profibus;
- CANopen: KFB-CO-CFW08 y a través de la tarjeta de control A3;
- DeviceNet: KFB-DN-CFW08 y a través de la tarjeta de control A4.

Extraído del catalogo: DIMOTEC (WEG, 2012)

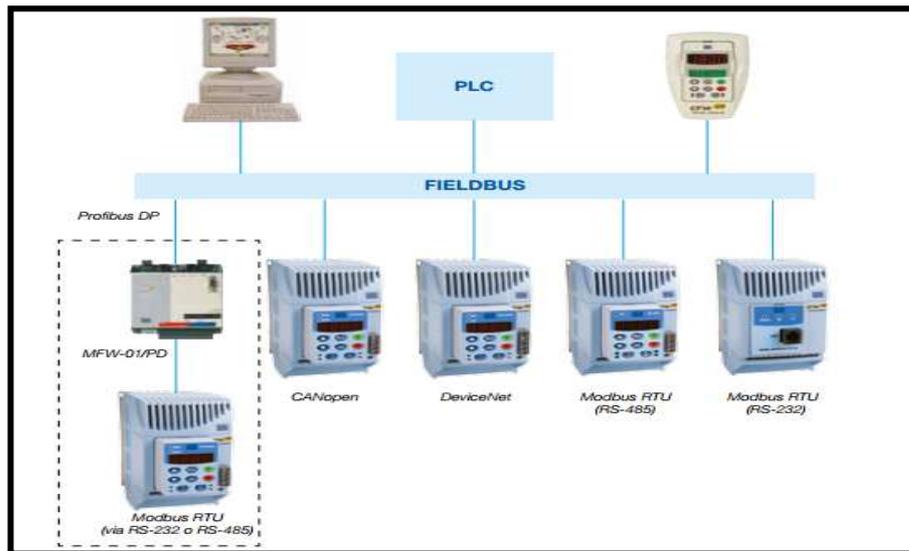


Fig. 2.29 Conexión en redes

Fuente: DIMOTEC (<http://ecatalog.weg.net/>, 2012)

2.14.4 Descripción de la tarjeta Multibombas

La funcionalidad de la tarjeta de control multibombas consiste en dar soporte a la bomba principal regulada por el convertidor de frecuencia serie ACTIVE mediante las bombas auxiliares y cuando lo requiera el sistema. Los tiempos de funcionamiento de todas las bombas auxiliares son guardados para garantizar la igualdad de tiempos de trabajo de las bombas.

2.14.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS ELECTROBOMBAS.

BOMBA CENTRIFUGA EN ACERO INOXIDABLE	
PRESTACIONES	
CAUDAL MÁXIMO	180 LIT./MIN (10,8 M ³ /H)
ALTURA MANOMÉTRICA	HASTA 32 MTS.
EFICIENCIA	40%

Tabla 1 Prestaciones de la Bomba

Fuente: <http://pedrollo.com.ec/>

RANGOS DE OPERACIÓN	
ALTURA DE ASPIRACIÓN MANOMÉTRICA	HASTA 7MTS
TEMPERATURA DE LIQUIDO	-10°C HASTA+90°C
TEMPERATURA AMBIENTE	-10°C HASTA+40°C
PRESIÓN MAX EN EL CUERPO DE LA BOMBA	4 BAR
FUNCIONAMIENTO CONTINUO	S1

Tabla 2 Rangos de operación de la Bomba

Fuente: <http://pedrollo.com.ec/>

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS		
RODAMIENTOS	6203 ZZ / 6203ZZ	
CONDENSADOR	220V: μ f 450VL	110V: 60 μ F 300VL
MOTOR ELÉCTRICO	MONOFÁSICA: 220V-60HZ	TRIFÁSICA: 220/380 V-60HZ
		220/440 V-60HZ

Tabla 3 Características Constructivas de la Bomba

Fuente: <http://pedrollo.com.ec/>

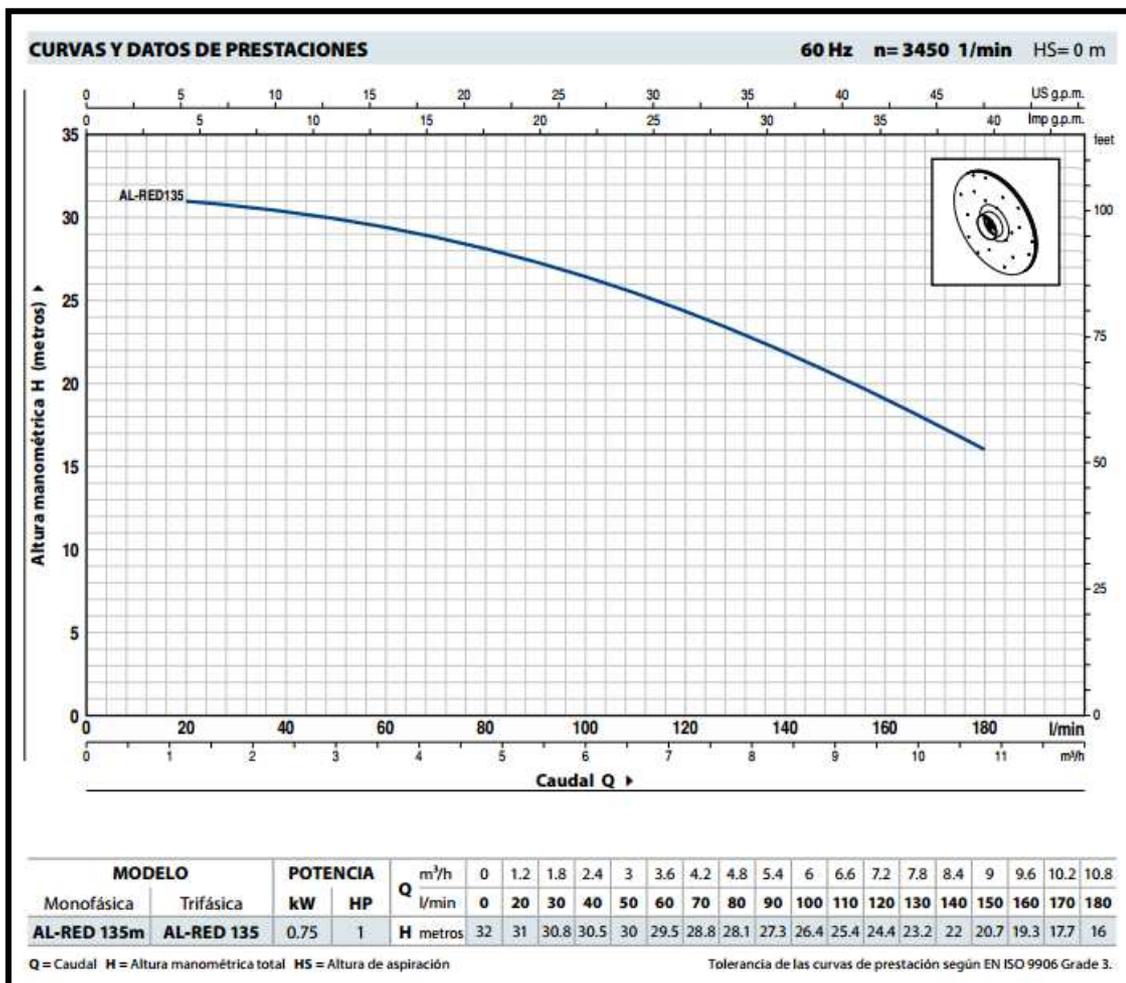


Fig. 2.30 Curvas y Datos de Prestaciones de la Bomba

Fuente: DIMOTEC (<http://www.pedrollo.com/>, 2013)

2.15 INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LA PROGRAMACIÓN DEL PLC

Lo Básico para empezar a programar es muy importante limpiar la memoria, luego todos los programas empiezan con LOD, con esta codificación pueden ir una serie de instrucciones que a continuación de describen detalladamente.

LOD NOT	Almacena el nuevo renglón con un contacto N.C
OR	Se coloca un elemento en paralelo
OR NOT	Contacto N.C en paralelo
AND	Coloca cualquier elemento en serie
AND NOT	Contacto N.C en serie
AND SHF LOD	Conexión en serie con resultados previamente establecidos
OR LOD	Conexión en paralelo con resultados previamente establecidos
OUT	Salida o relevador
TIM	Relevador de Tiempo
CNT	Contador
END	Termina un programa.

2.15.1 EJEMPLOS BÁSICOS DE PROGRAMACIÓN

Aquí se describirán algunos ejemplos paso a paso, para entender mejor la forma de programación del PLC. Para comenzar, se programarán ejemplos básicos como lo son las compuertas y algunos otros ejemplos usando los diferentes elementos con los que cuenta la memoria del PLC.

Ejemplo 1.- En este primer ejemplo se realiza la programación de una compuerta AND, para que se active su salida (200) es necesario que todos los contactos estén activados con un 1 (contacto cerrado). El contacto 3 ya se encuentra cerrado solo es necesario que se activen los contactos 1 y 2 para que se accione la salida. Para ingresar este programa al PLC es necesario introducirlo por medio del método de programación que utiliza como se indica en las instrucciones.

LOD 1	Almacena una nueva línea con el contacto 1 N.A.
AND 2	Contacto 2 N.A. en serie.
AND NOT 3	Coloca el contacto 3 en serie N.C.
OUT 200	Salida 200.
END	Fin del programa.

Diagrama de escalera	Entrada al programa
<p>Contatos en serie (AND)</p>	<pre> LOD 1 ENTR AND 2 " AND NOT 3 " OUT 200 " </pre>

Fig. 2.31 Programación en Escalera Ej.1

Fuente: GARCÍA LOPEZ IVÁN, MÉXICO, D. F. 2007.

Ejemplo 2.- En este ejemplo se programa una serie de contactos en paralelo (compuerta OR), en este caso la salida 201 esta accionada ya que el contacto 2 presenta un 1. Se sabe que una compuerta OR solo es necesita que una de sus entradas este cerrada.

LOD 1	Almacena una nueva línea con el contacto 1 N.A.
OR NOT 2	Almacena un contacto en paralelo N.C.
OR 3	Almacena un contacto en paralelo N.A.
OUT 201	Salida 201.
END	Fin del programa.

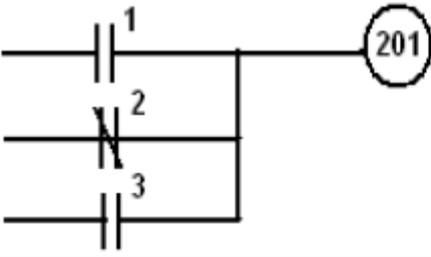
Diagrama de escalera	Entrada al programa
<p>Contactos en paralelo (OR)</p> 	<pre> LOD 1 ENTR OR NOT 2 " OR 3 " OUT 201 " </pre>

Fig. 2.32 Programación en Escalera Ej.2

Fuente: GARCÍA LOPEZ IVÁN, MÉXICO, D. F. 2007.

Ejemplo 3.- Este ejemplo se maneja la combinación de las 2 compuertas (AND y OR), por lo que se utilizan nuevas instrucciones.

LOD 1	Almacena una nueva línea con el contacto 1 N.A.
OR NOT 4	Coloca un contacto 4 en paralelo N.C.
LOD NOT 2	Almacena un nuevo bloque con un contacto N.C.
OR 5	Coloca un contacto en el nuevo bloque N.A.
AND SHF LOD	Une los dos bloques anteriores con los datos establecidos.
LOD 3	Crea un nuevo bloque el cual coloca un contacto N.A.
OR NOT 6	Coloca un contacto N.C en paralelo al contacto 3.
AND SHF LOD	Une los bloques en serie.
OUT 202	Salida 202.

Diagrama de escalera	Entrada al programa
<p>Contatos en paralelo/serie</p>	<pre> LOD 1 ENTR OR NOT 4 " LOD NOT 2 " OR 5 " AND SHF LOD " LOD 3 " OR NOT 6 " AND SHF LOD " OUT 202 " </pre>

Fig. 2.33 Programación en Escalera Ej.3

Fuente: GARCÍA LOPEZ IVÁN, MÉXICO, D. F. 2007.

Ejemplo 4.- En el ejemplo siguiente se describen una serie de arreglos en paralelo, los cuales alimentan una salida (203).

LOD 1	Almacena una nueva línea con un contacto N.A.
AND 3	Registra un contacto en serie N.A.
LOD NOT 2	Crea una nueva línea con un contacto N.C.
ADN 4	Contacto en serie N.A.
OR SHF LOD	Coloca los arreglos en paralelo.
LOD 5	Nueva línea con un contacto N.A.
AND NOT 6	Contacto en serie N.C.
OR SHF LOD	Arreglos en paralelo.
OUT 203	Salida 203.

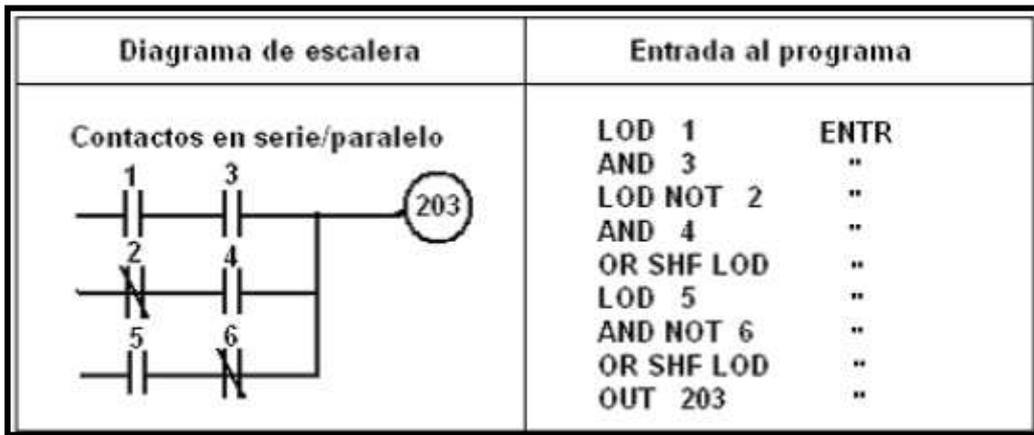


Fig. 2.34 Programación en Escalera Ej.4

Fuente: GARCÍA LOPEZ IVÁN, MÉXICO, D. F. 2007.

Ejemplo 5.- En este ejemplo se observan los relevadores de tiempo-retardado después de energizar.

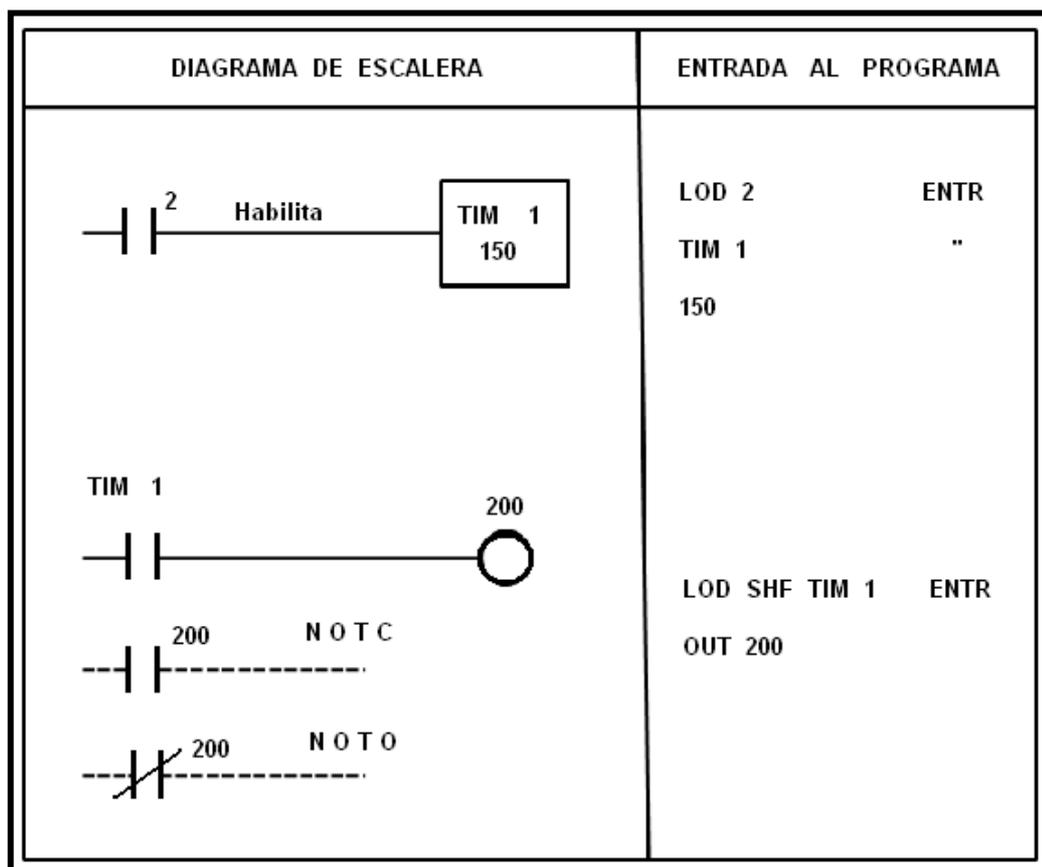


Fig. 2.35 Programación en Escalera Ej.5

Fuente: GARCÍA LOPEZ IVÁN, MÉXICO, D. F. 2007.

LOD 2	Carga un contacto normalmente abierto 2.
TIM 1	Se conecta un Timer en serie al contacto 2.
150	Tiempo en el que se va a accionar el contacto del Timer.
LOD SHF TIM 1	Cargar un contacto normalmente abierto del Timer 1. Cuando este concluye se cierra el contacto.
OUT 200	Cuando se cierra el contacto del Timer 1, se activa la salida 200.

Para poder ver el tiempo del TIM 1 en el programador se utiliza las siguientes teclas:

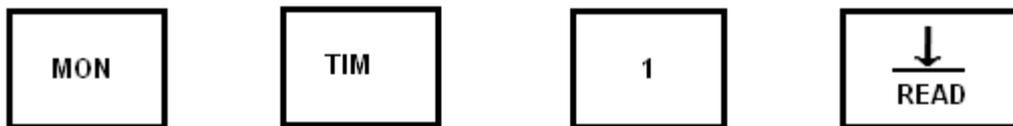


Fig. 2.36 Teclas del Programador

Fuente: GARCÍA LOPEZ IVÁN, MÉXICO, D. F. 2007.

Todas las instrucciones dadas son ejemplos y pueden cambiar según las necesidades del usuario, se debe programar para todas las variables que se desee controlar.

CAPÍTULO III

3. Funcionamiento y características del CFW-08 implementado en el Sistema.

El variador CFW-08 puede tener dos tipos de Controles: Control Fijo y Control Móvil, utilizando el mismo regulador PID simplemente configurando o ajustando a la demanda requerida.

El funcionamiento del Sistema Multibombas con el control fijo, es que maneja hasta 4 bombas, teniendo invariablemente el dominio de la velocidad de una sola de ellas, la cual estará conectada directamente al variador de frecuencia consideraba la bomba principal. Las demás bombas auxiliares estarán comandadas por las salidas digitales del CFW-08, por lo que al utilizar este tipo de control podremos seleccionar el más efectivo modo de arranque, estrella triángulo, arrancador suave o arranque directo.

Con fundamentos en límites de presión de salida, frecuencia de salida e intervalos de temporización necesarios para el equilibrio del sistema, estas variables serán medidas según la necesidad del usuario o según sea el caso, teniendo el punto de operación se definirá si es oportuno aumentar o disminuir una bomba.

Por otro lado también se puede trabajar con el sistema Multibombas utilizando la configuración del Control Móvil el cual maneja hasta 3 bombas, el Convertidor de frecuencia CFW-08 se logra conectar con cualquiera de las bombas quedando las demás como auxiliares, todo esto es posible por medio de la lógica de relés en el convertidor de frecuencia.

Esta configuración es similar a la lógica del control fijo en el aspecto que según las variables de presión, frecuencia se decide adicionar o disminuir una bomba al sistema, por lo que a diferencia del Control Fijo, cualquiera de las tres bombas podrá ser activada en el momento apropiado y ser tomada como principal. De esta manera se estabiliza los tiempos de operación del conjunto de bombas.

Queda claro que el instante que permuta la bomba operada por el CFW-08 es completamente configurable donde se determina el intervalo de tiempo y punto de operación para los intercambios, teniendo en cuenta que los momentos oportunos pueden ser: modo dormir, convertidor de frecuencia apagado, modo con rango por debajo del punto establecido; en estos instantes el CFW-08 apagará todas las bombas y al retomar la puesta en marcha podrá elegir otra bomba para el sistema. Siendo este el sistema más conveniente y elegido en esta propuesta ya que nos brinda una equitativa distribución del trabajo para cada bomba alargando la vida útil de cada una de ellas.

3.1 Descripción de elementos requeridos para el Sistema MULTI BOMBEO.

Aquí tenemos un listado de los elementos básicos que se requieren para poner en marcha el Sistema de Control Multibombas:

- ✓ 1 VARIADOR DE FRECUENCIA CFW-08; 6 HP 220V
- ✓ HMI
- ✓ 3 MOTORES (BOMBAS DE AGUA)

- ✓ TANQUES DE PRESIÓN
- ✓ SENSORES DE PRESIÓN
- ✓ VÁLVULAS CHEQUE

Adicional a esta breve lista se requiere de la toda parte de grifería para enlazar los tanques y las bombas entre sí para la parte del fluido. De igual manera toda la parte de cableado y electrónica para el montaje y puesta en marcha del Variador CFW-08 en el Sistema de Control Multibombas.

3.1.1 ELEMENTOS PARA EL SISTEMA HIDRONEUMÁTICO

El Sistema Hidroneumático debe ser montado y proporcionado de los elementos aquí descritos:

1. Un tanque de presión, el cual debe tener su entrada y salida para el agua con su respectivo sello para evitar que ingrese aire al sistema de distribución.
2. Pulsador de Paro de emergencia, en el momento que falte agua en la cisterna.
3. Válvulas cheque.
4. Manómetro.
5. Indicadores de Nivel
6. Tablero de control de motores.
7. Drenaje del tanque a presión, con su debida llave de paso.
8. Compresor que restablezca el aire perdido en el tanque.

3.2 Análisis del consumo generado por el hotel y del ahorro propuesto en este proyecto

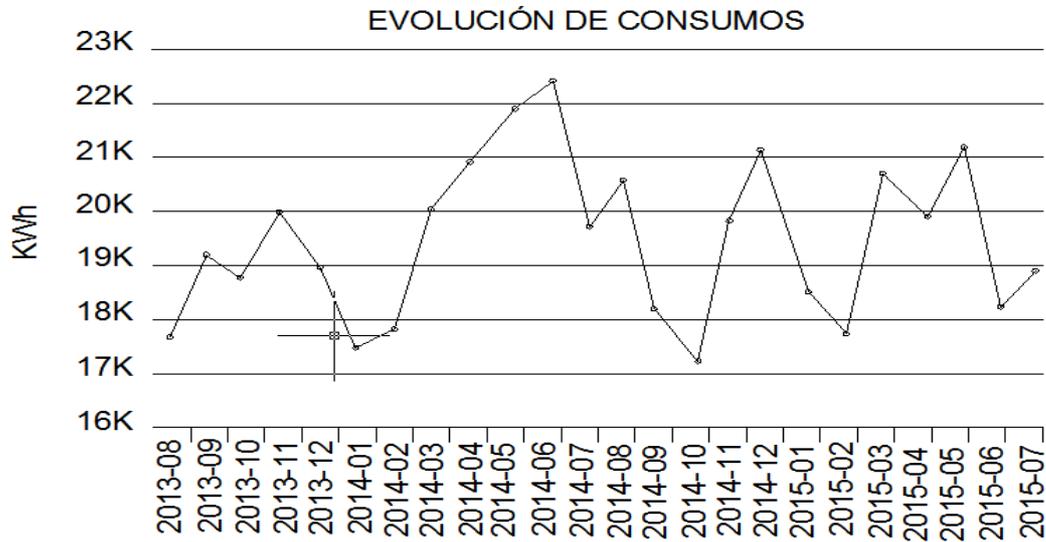


Fig. 3.1 Consumo actual de un hotel

Fuente: Por el Autor

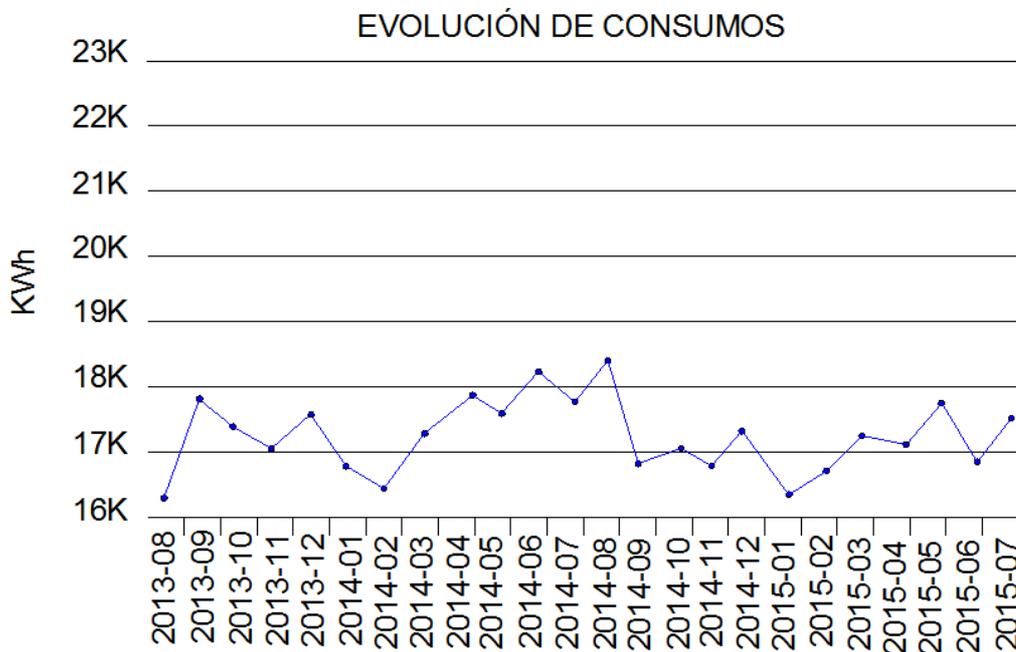


Fig. 3.2 Consumo proyectado con implementación del sistema Multibomba

Fuente: Por el Autor

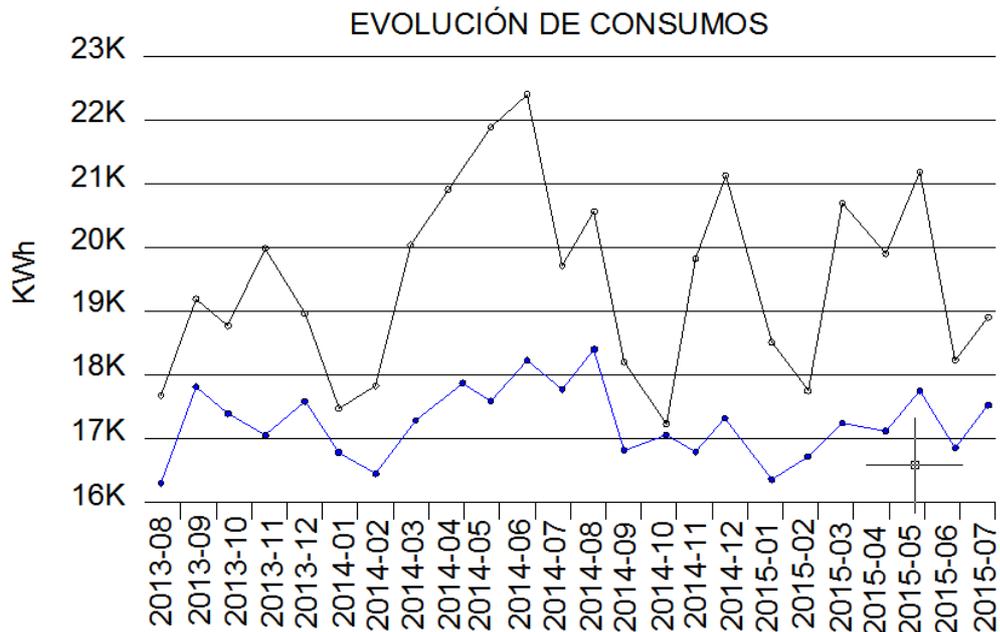


Fig. 3.3 GRÁFICA COMPARATIVO DE CONSUMOS

Fuente: Por el Autor

3.3 Análisis de los diferentes sistemas de control de agua existentes.

Existen algunos tipos de sistema de control de agua, entre ellos podemos mencionar el sistema de distribución de agua con tanque elevado y con tanque a presión.

El sistema de tanque elevado se manejan junto con una bomba de presión, con esta instalación nos permite trabajar en el modo manual o automático; en el modo automático la electrobomba suministra el agua desde una cisterna aun tanque elevado llenándolo para poder abastecer todas las demandas como grifos, duchas, lavadoras, etc...

Y la distribución del agua es principalmente por la gravedad que se obtiene al tener el tanque elevado en la parte más alta del edificio, de esta manera cada vez que haya que abastecer una demanda, el agua caerá por la misma gravedad.

La diferencia entre el modo manual y automático es que impedirá que la electrobomba trabaje en vacío cuando la cisterna está seca y produzca daño en el motor y por otro lado que el tanque se llene demasiado de agua.

El modo manual permite la operación por medio de interruptores de marcha y paro del sistema. Este modo debe solo utilizarse para pruebas o reparaciones del sistema.

El sistema de distribución de agua con tanque Hidroneumático (Presión), consiste en que en su interior lleva aire y agua bajo presión, el aire no tiene roce directo con el agua, el aire comprimido sirve como colchoneta para ejercer o asimilar presión.

Sus principales características es proporcionar el agua con el rango de presión requerida para que el motor no trabaje sin parar; prevenir que la bomba no arranque cuando el sistema haga una demanda menor de agua.

3.4 DISEÑO LOS DIAGRAMAS ELÉCTRICOS EMPLEADOS POR EL SISTEMA DE CONTROL CFW-08.

3.4.1 DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA MULTIBOMBAS.

Para cualquier Hotel o condómino contamos mínimo con una infraestructura de 3 a 4 pisos en los cuales en cada uno de ellos tenemos relativamente la misma cantidad de puntos donde se demanda del agua, por lo que se propone para esta área la implementación del sistema Multi-bombeo que tiene como

característica propia el flujo variable a presión constante, esto enmarca que este control cuenta con un PLC que nota la demanda de agua en tiempo real, sea esta alta o baja; en el caso que perciba una alta demanda de agua, acelera las bombas para abastecer la insuficiencia, y si el caso fuese el contrario, al existir baja demanda de agua; esto tenemos a diario en un hotel es decir los cambios en la demanda, por lo que se ajusta la velocidad de la bomba para que el sistema de bombeo ofrezca solo el impulso de presión y el flujo que un Hotel realmente requiere en un momento dado, al no existir demanda las bombas automáticamente pasan al modo sleep por lo que esto proporciona la optimización del consumo eléctrico llevándonos a un ahorro de hasta el 70% y a su vez contribuye al medio ambiente.

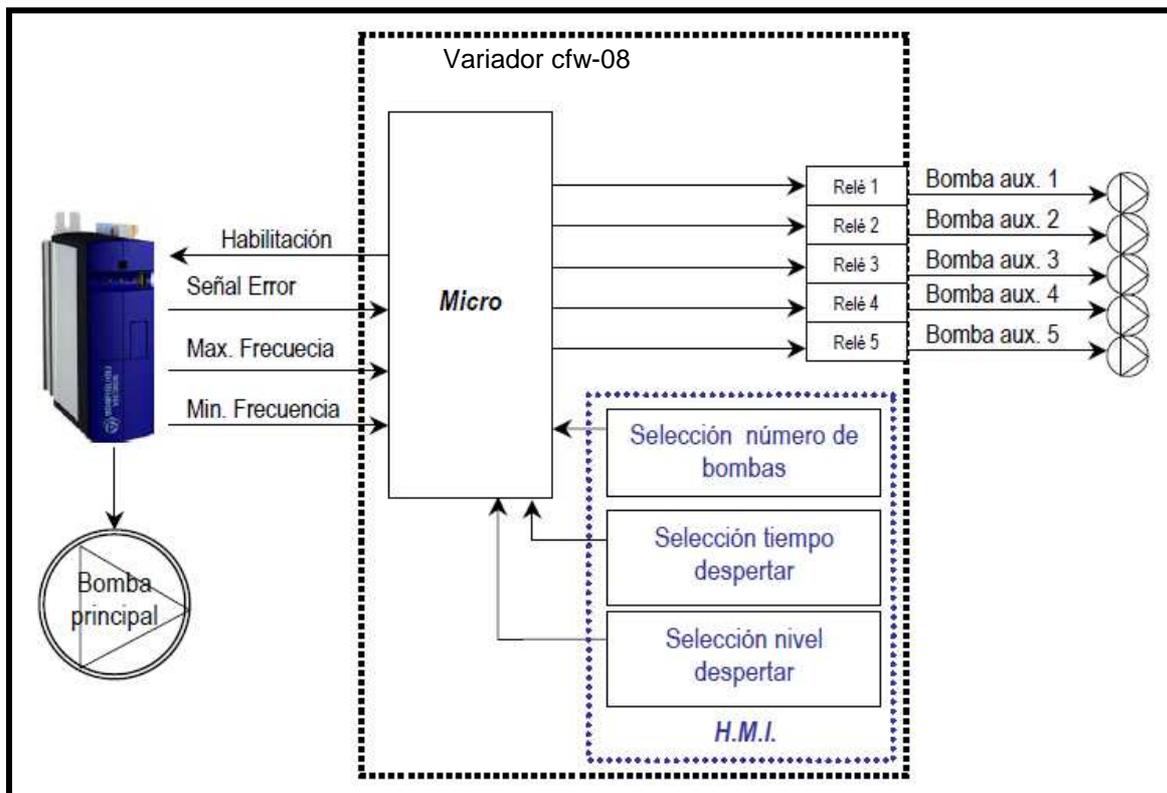


Fig. 3.4 Conexiones del Sistema Multibombas

Fuente: DIMOTEC (<http://ecatalog.weg.net/>, 2012)

En la Fig. 3.4, se puede apreciar el diseño con las conexiones del sistema en el cual podemos ver una Bomba principal que rotativamente según la programación que le demos esta puede cambiar por cualquiera de las demás, con respecto a las bombas auxiliares según la necesidad o las dimensiones del Hotel podemos colocar de 3 a 4 bombas auxiliares que básicamente son las que se activan según vaya variando la demanda del agua en cada uno de los pisos del hotel.

También podemos ingresar valores de intervalos de frecuencia máxima y mínima, seleccionar el número de bombas que desee activar como a su vez el tiempo para que las bombas lleguen al modo Sleep.

3.4.2 DISEÑO DEL SISTEMA MULTIBOMBAS.

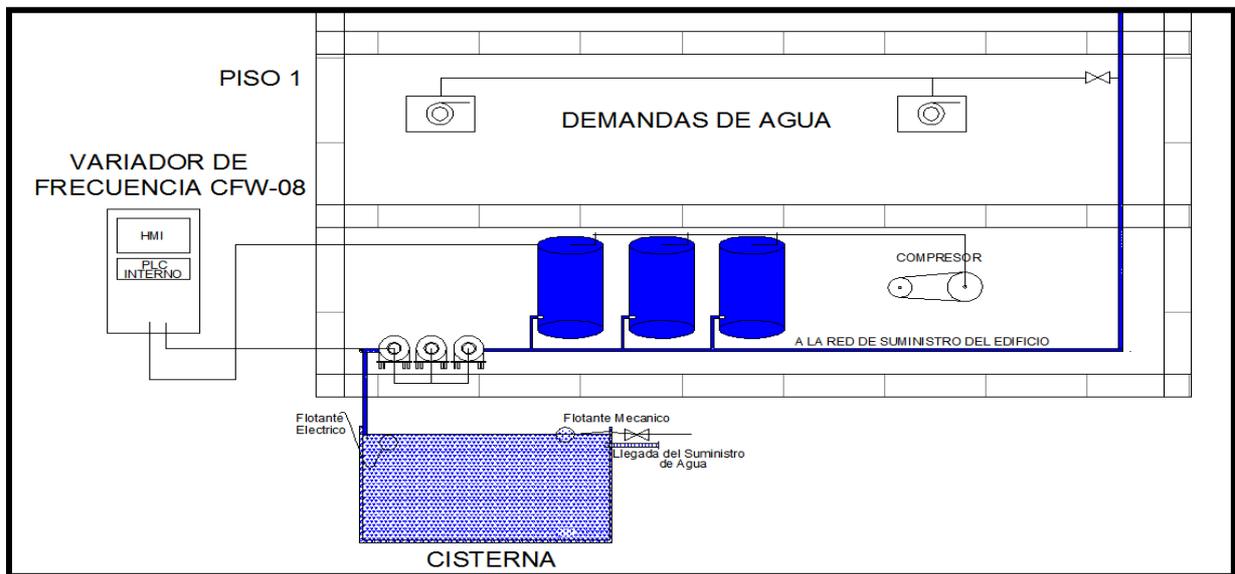


Fig. 3.5 Esquema del Sistema Multibombas

Fuente: Por el Autor

En la fig. 3.5. se observa el esquema del sistema multibombas donde comienza por el suministro de agua por el acueducto público que llega a la cisterna o a un tanque de almacenamiento según las adecuaciones de la edificación, luego las bombas se encargaran de impulsar el agua a los tanques de presión, en el instante que se alcance un nivel de agua y presión establecidos, se activara el índice de parada de bomba y los tanques quedaran en capacidad necesaria para abastecer a la red de suministro del edificio.

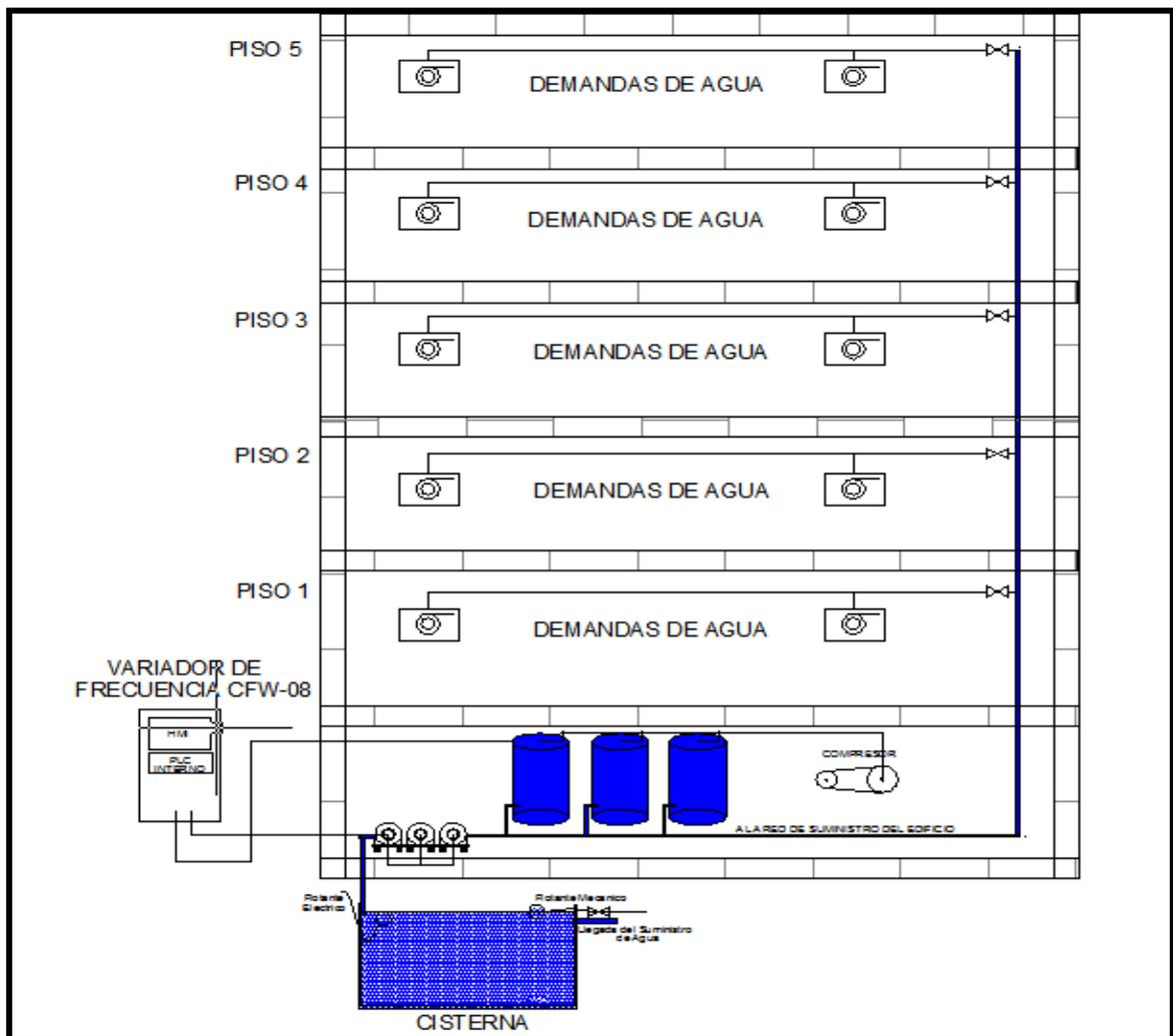


Fig. 3.6 Esquema del Sistema Multibombas del Edificio

Fuente: Por el Autor

Este sistema será controlado bajo los parámetros del Variador de Frecuencia CFW-08 los cuales serán ingresados según las necesidades y demandas que requiera el cliente basándose en las instalaciones del edificio, teniendo en cuenta que con este novedoso sistema las bombas siempre tendrán un desgaste equitativo ya que el variador toma cada determinado tiempo a una bomba diferente como principal.

Este control mantiene en condiciones estables el proceso, ya que según la necesidad puede ir incluyendo al sistema una bomba más, cada una de ellas puede trabajar con su velocidad variando en el margen del rango de operación o cambiar de bomba cuando el sistema lo crea necesario según la variable que desee controlar.

3.5 DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL CONTROL PARA EL SISTEMA MULTIBOMBAS.

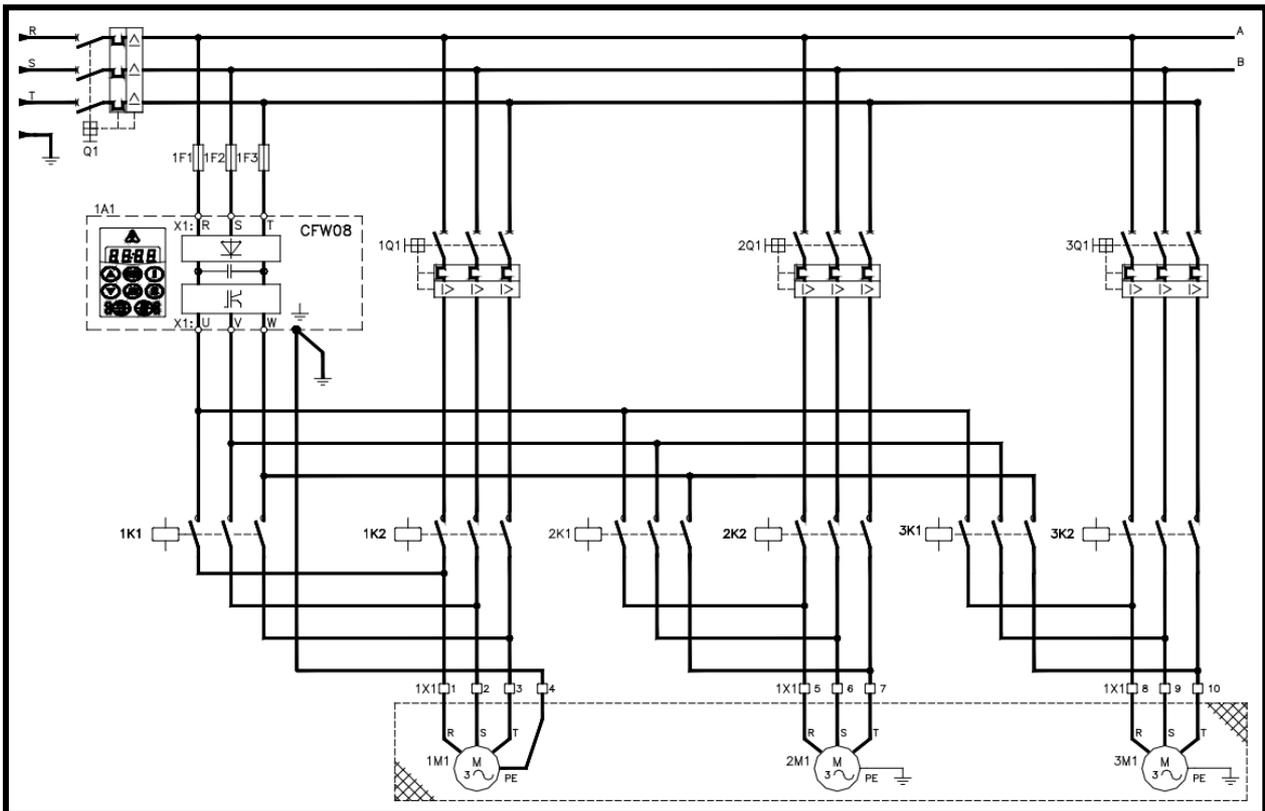


Fig. 3.7 Conexiones Eléctricas de Potencia para el Control Multibombas móvil.

Fuente: (<http://ecatalog.weg.net/> ,2012)

En la figura 3.7 tenemos las conexiones eléctricas de Potencia para el control Multibombas móvil, en el cual la bomba con velocidad variable conectada al variador de frecuencia puede alterar según la necesidad de la variable que el sistema desee controlar durante la ejecución del proceso.

El Multibombas Control Móvil es semejante al Control Fijo no que hace respecto a la tomada de decisión para adicionar o quitar una bomba al sistema. Por otro lado, permite que cualquier de las tres bombas sea conectada a la salida del convertidor de frecuencia. De este modo, al contrario del Control Fijo, la bomba

controlada por el convertidor de frecuencia puede ser cambiada por otra en un momento oportuno y, por lo tanto, equilibrando los tiempos de operación de todas las bombas del sistema.

El momento de intercambio de la bomba controlada por el CFW-08 es totalmente programable, donde el cliente puede configurar el punto de operación del sistema para el intercambio, bien como el intervalo de tiempo máximo entre los intercambios. (WEG, 2013)

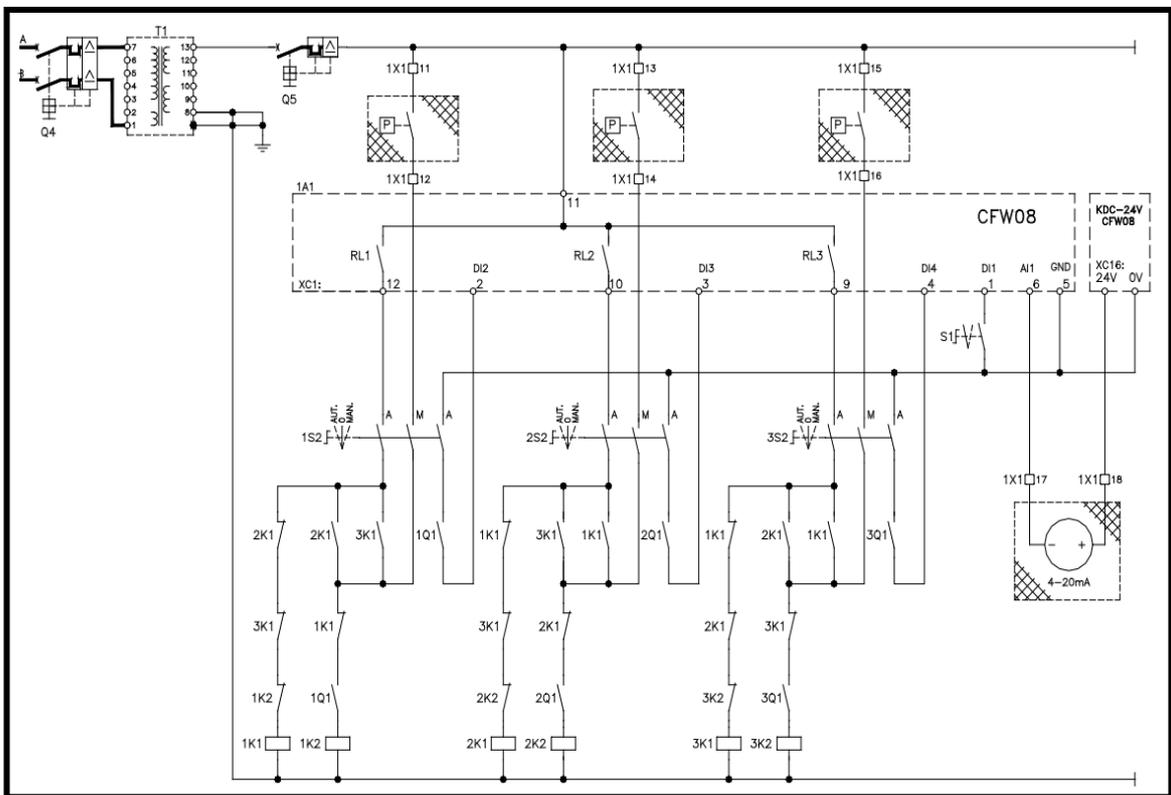


Fig. 3.8 Conexiones Eléctricas de Comandos para el Control Multibombas móvil.

Fuente: (<http://ecatalog.weg.net/>, 2012)

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

En el estudio realizado previo al diseño, se logra definir qué se debe implementar un Sistema Multibombas automatizado, tomando en cuenta los protocolos y estándares proporcionados por las organizaciones reguladoras, si esta dentro de las posibilidades y existe la infraestructura adecuada que se climatice el cuarto de Bombas donde se ubicaría este Sistema.

En este tipo de Control para el Sistema Multibombas a mas de obtener un optimo Ahorro Energético, por sus características de configuración se logra dar una mayor vida útil del sistema de Bombeo, facilitando también el mantenimiento adecuado que debe dársele sin tener interrupciones de operación.

Las mejoras que lograremos son evidentes puesto que este sistema mantiene la presión de línea constante proporcionando el caudal necesario conforme la demanda del sistema lo requiera; diagnostica los fallos que ocurran durante el proceso, regulariza el tiempo de operación de las bombas, permitiendo tener un desgaste uniforme.

Hoy en día el Ecuador está avanzando en lo que a tecnología se refiere, esperemos que en años futuros, estemos en un auge en este tipo de sistemas, adaptando según el diseño que se requiera.

4.2 RECOMENDACIONES

Se debe realizar un estudio exhaustivo, con la infraestructura de tuberías de agua en la que se va a proponer un tipo de sistema Multibombas, ya que la implementación va a depender de ello, evaluando que no exista ninguna fuga de agua o tuberías rotas.

Tomar en cuenta los dispositivos a utilizar, ejecutar de manera adecuada la configuración de cada equipo, para que puedan tener un tiempo de funcionamiento prolongado y emita fallas.

En caso de ser un estudio sobre los sensores de nivel a utilizar, proponer el más adecuado para que se adapten a las necesidades del usuario.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Kolosov, S. - Kalmikov, I. V. - Nefiodova, V. I., Moscú. 1972; ELEMENTOS DE AUTOMÁTICA
- McGraw Hill. 2004; **AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**
- *MANUEL ÁLVAREZ PULIDO*, MARCOMBO, S.A., 2000 CONVERTIDORES DE FRECUENCIA, CONTROLADORES DE MOTORES
- Pablo Daneri, Enero, 2008. PLC - AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL
- J. W. J. de Wekker V. Junio.2004 **CHARLA DICTADA EN LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO.**

REFERENCIAS EN LA WEB:

www.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw-08-convertidores-de-frecuencia

www.potenciaelectromecanica.com/inversores-variadores-de-frecuencia/inversores-weg-baja-tension-bt/cfw08/

<http://ecatalog.weg.net/>, 2012

ingenieros.es/files/proyectos/Variadores_de_frecuencia.pdf

[http://www.dimotec.com.ar/descargas/web/web\(5\).pdf](http://www.dimotec.com.ar/descargas/web/web(5).pdf)

<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3330/5/34059-5.pdf>