



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRESIÓN O CAUDAL CONSTANTE
UTILIZANDO UN VARIADOR DE FRECUENCIA MULTIBOMBA**

Rudy Alberto Franco Cifuentes

Asesorado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Guatemala, julio de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRESIÓN O CAUDAL CONSTANTE
UTILIZANDO UN VARIADOR DE FRECUENCIA MULTIBOMBA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

RUDY ALBERTO FRANCO CIFUENTES

ASESORADO POR EL ING. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JULIO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González López
EXAMINADOR	Ing. Romeo Nefalí López Orozco
EXAMINADOR	Ing. Bayron Armando Cuyan Culajay
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRESIÓN O CAUDAL CONSTANTE UTILIZANDO UN VARIADOR DE FRECUENCIA MULTIBOMBA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 12 de junio del 2013



Rudy Alberto Franco Cifuentes

Ingeniería

Carlos Eduardo Guzmán Salazar

Coordinador del Área de Electrónica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

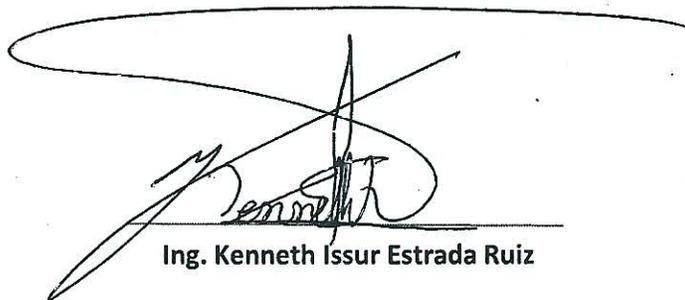
Estimado Ingeniero Guzmán:

De acuerdo con la designación hecho por la Dirección de la Escuela, me permito informarle que he tenido bien asesorar el trabajo de graduación titulado " **DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRESIÓN O CAUDAL CONSTANTE UTILIZANDO UN VARIADOR DE FRECUENCIA MULTIBOMBA** " siendo el tema desarrollado por el estudiante **Rudy Alberto Franco Cifuentes**, encontrándolo satisfactorio, por lo que resuelvo dar mi aprobación al mismo, remitiéndole a la coordinación para el tramite pertinente.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y yo como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Colegiado: 6271

Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Col. 6271



Ref. EIME 28. 2014
Guatemala, 16 de MAYO 2014.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRESIÓN O CAUDAL
CONSTANTE UTILIZANDO UN VARIADOR DE FRECUENCIA
MULTIBOMBA, del estudiante Rudy Alberto Franco Cifuentes,
que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



S/O



REF. EIME 28. 2014.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; RUDY ALBERTO FRANCO CIFUENTES titulado: DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRESIÓN O CAUDAL CONSTANTE UTILIZANDO UN VARIADOR DE FRECUENCIA MULTIBOMBA, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 23 DE JUNIO 2,014.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRESIÓN O CAUDAL CONSTANTE UTILIZANDO UN VARIADOR DE FRECUENCIA MULTIBOMBA**, presentado por el estudiante universitario **Rudy Alberto Franco Cifuentes** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, julio de 2014

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por cada bendición que me ha dado en mi vida.
Mis padres	Mynor Franco y Luz Maria de Franco. Su amor, apoyo, ejemplo, son mi inspiración para lograr nuevas metas día a día.
Mis hermanos	David, Javier Franco, por apoyarme siempre en todo con su amor.
Mi tío	Willy Estuardo Cifuentes, al verlo como mi hermano mayor y querer seguir sus pasos.
Mi prometida	Irma Zimeri, por estar siempre a mi lado apoyándome en cada meta propuesta.

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la mi casa de estudio.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme los estudios superiores.

**Mis amigos de la
Facultad**

Sergio Murakawua, Felipe Castillo, Guido Reyes, Carlos López, Carlos Rivas, José Dávila, Renato Salazar, Luis Hernández, Gabriel Mux, Erick Berganza, Luís Lepe, José Cáceres, José Cheley, cada uno me brindó su amistad y apoyo incondicional.

Un buen amigo

Angel Arriaga, la persona que me enseñó a cómo ser un buen profesional, amigo, líder.

Mis amigos de la vida

Luis Barahona, Vinicio Salazar, Gustavo García, Maicol Galdamez, Ariel Varela, Sindy Vásquez, Evelyn Aldana, Karla Alada, Regina Barrios, toda la vida han estado a mi lado y siempre creyeron que podía lograr la meta de ser ingeniero.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
1. FUNDAMENTOS DE LOS EQUIPOS DE UN SISTEMA DE BOMBEO.....	1
1.1. Variador de frecuencia.....	1
1.2. Bombas trifásicas	7
1.3. Sensores de presión.....	12
1.4. Guarda motor	13
1.5. Fusibles ultra rápidos	14
1.6. <i>Breaker</i>	15
1.7. Contactores	15
1.8. Diagrama de fuerza	19
1.9. Diagrama de control	19
2. DESCRIPCIÓN DE LOS LENGUAJES Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.....	21
2.1. Fundamentos.....	21
2.1.1. Terminología y conceptos básicos.....	22
2.2. Protocolos industriales de comunicación.....	25
2.2.1. Definición	27
2.2.2. Protocolos industriales comunes	27

2.2.2.1.	DeviceNet.....	27
2.2.2.2.	ControlNet	38
2.2.2.3.	Ethernet/IP	40
2.2.2.4.	Otros	43
3.	SISTEMAS DE BOMBEO USANDO VARIADOR DE FRECUENCIA	45
3.1.	Conceptos	45
3.2.	Tipos de sistemas	45
3.2.1.	Una sola bomba	46
3.2.2.	Multibomba.....	51
3.3.	Aplicaciones	52
4.	DISEÑO DEL SISTEMA.....	59
4.1.	Física.....	59
4.2.	Enlace de datos	60
4.3.	Aplicación.....	62
	CONCLUSIONES.....	69
	RECOMENDACIONES	71
	BIBLIOGRAFÍA.....	73
	ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Funcionamiento de un variador de frecuencia	2
2.	Convertidor de frecuencia para no utilizar bombas diferentes	6
3.	Variador de frecuencia	6
4.	Equipo de bombeo para pozo profundo	8
5.	Bomba para pozo profundo.....	11
6.	Transductores de presión industriales	13
7.	Guardamotor.....	14
8.	<i>Breaker</i>	15
9.	Partes del contactor	17
10.	Topología del bus	23
11.	Topología estrella	24
12.	Topologia anillo	25
13.	Ejemplo de red DeviceNet	29
14.	Topología posible de la red DeviceNet	34
15.	Tipos de cables.....	36
16.	Vista de los componentes de cable para DeviceNet.....	37
17.	Modelo maestro/esclavo	39
18.	Método multimaster	39
19.	Bomba centrífuga.....	47
20.	Principio de funcionamiento de bomba centrífuga	48
21.	Partes de una bomba centrífuga.....	50
22.	Diagrama de bloques simplificado del control multibombas.....	52
23.	Diagrama de bloque propuesto.....	60

24.	Protocolo de comunicación para el variador de frecuencia	61
25.	Ejemplo de sistema multibomba	64
26.	Conexiones eléctricas de potencia para el control de multibomba fijo	65
27.	Conexiones eléctricas de comando para el control multibomba fijo	66
28.	Conexiones eléctricas de potencia para el control multibomba móvil	67

TABLAS

I.	Velocidad de datos y distancia de extremos de la red	35
II.	Esquema de colores de los cables DeviceNet	37
III.	Tecnología Ethernet	41

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Ac	Corriente alterna
Dc	Corriente directa
Dcv	Tensión continua
kbits	Kilo bits por segundo
kW	Kilovatio
mA	Miliamperio
mm	Milímetro

GLOSARIO

Bit	Unidad de memoria más pequeña. Guarda solamente uno de los dos estados 1 o 0 (encendido/apagado).
CAN	<i>Controller Area Network</i> . Controlador de área de red
Controlador lógico programable (PLC)	Dispositivo industrial de estado sólido, el cual maneja señales de entrada/salida basado en una programación establecida.
FDDI	Interfaz de datos distribuida por fibra.
Gateways	Puerta de enlace.
IGBT's	<i>Insulated Gate Bipolar Transistors</i> . Trasmisor bipolar de puerta asilada.
Kilovatio	medida de energía que significa 1 000 joules de energía por segundo.
LAN	Red de área local.
MAU	Unidad de acceso multiestación.

Tubo bourdon

Es un manómetro para medir presiones.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación consiste en presentar una propuesta del diseño de un sistema de presión utilizando un variador de frecuencia, el cual establecerá un nivel de integración de automatización del variador y las bombas tendrán una presión constante.

Para lo cual se desarrollan cuatro capítulos, en el uno se realiza una descripción de los conceptos básicos de variador de frecuencia, la utilización de bombas trifásicas, los componentes como lo son sensores de presión, contactores, diagrama de fuerza entre otros, con el objetivo de dar a conocer los componentes del sistema de presión.

En el capítulo dos se realiza una descripción de los diferentes tipos de protocolo de comunicación existentes en el mercado guatemalteco, los cuales son un método estándar que permite la comunicación entre procesos, se establecen los procedimientos para el envío y recepción de datos.

En el capítulo tres se hace una descripción del sistema propuesta de bombas utilizando un variador de frecuencia, el cual es dispositivo electrónico que permite modular la energía, velocidad que recibe el motor, para hacer más eficiente el proceso de bombeo de líquidos.

En el capítulo cuatro se describe el diseño del sistema, los componentes físicos que se necesitaran, los procesos para enlaces de datos y sus aplicaciones.

OBJETIVOS

General

Realizar un diseño de un sistema de presión o caudal constante utilizando un variador de frecuencia multibomba.

Específicos

1. Presentar los fundamentos de los equipos de bombeo.
2. Dar a conocer los diferentes tipos de lenguajes y protocolos de comunicación que se utilizan en la automatización en la industria.
3. Presentar los diferentes tipos de sistemas de bombeo utilizando variador de frecuencia
4. Realizar el diseño del sistema de bombeo utilizando un variador de frecuencia multibomba.

INTRODUCCIÓN

A medida que la electrónica avanza y la generación de energía es cada vez más costosa, se torna rentable y necesario hacer cada vez más eficientes los procesos de producción, este es el caso de aquellos procesos que involucren bombas y que haciendo uso de los controles de frecuencia (variadores) pueden ser más eficientes y por lo tanto ahorrar energía.

Los sistemas con variador de frecuencia se pueden aplicar en aquellos sistemas en donde se requiere regular el flujo a diferentes cargas.

El variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que permite controlar y regular la velocidad de motores eléctricos de inducción, esta regulación se realiza por medio del control de la frecuencia de alimentación que se le suministra al motor.

Los organismos operadores de agua potable tienen un gran potencial de ahorro de energía mediante la aplicación de velocidad variable a sus sistemas de bombeo directo a la línea, ya que este es el caso donde la carga es variable, la tendencia de distribuir el control en varias bombas, de tal manera que la falla en una de ellas no suspendiera al sistema total, e inclusive, que a la falla de una de ellas, otra bomba tomará su lugar para que el sistema continuará operando. Estos sistemas han pasado por muchas etapas.

La mayoría de los grandes fabricantes de equipos e instrumentos para medición y control se adaptan a este nuevo sistema del uso de multibombas con la introducción de plataformas de software que integra la automatización

dentro del variador de frecuencia entre los fabricantes que trabajan estos equipos se tiene a WEG, FRANKLIN entre otros se toma como referencia a los fabricantes WEG.

El propósito de la presente investigación es proporcionar un diseño óptimo de un variador de frecuencia multibomba. Se tomarán en cuenta aspectos tales como economía, valor y necesidad para el diseño. El sistema permitirá supervisar y controlar las distintas variables que forman parte del proceso. Para ello se utilizarán distintos periféricos, softwares de aplicación, unidades remotas y sistemas de comunicación basados en Ethernet.

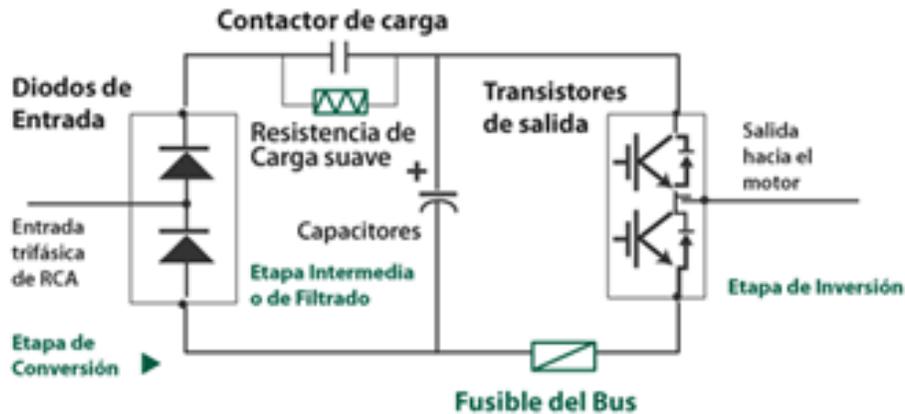
1. FUNDAMENTOS DE LOS EQUIPOS DE UN SISTEMA DE BOMBEO

1.1. Variador de frecuencia

El variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que permite controlar y regular la velocidad de motores eléctricos de inducción, esta regulación se realiza por medio del control de la frecuencia de alimentación que se le suministra al motor. Los variadores de frecuencia permiten el correcto funcionamiento de los motores eléctricos, ya que regulan la velocidad a la cual funcionan. Las maquinarias eléctricas pueden operar a velocidades constantes o variables, dependiendo del tipo de alimentación, de las características del motor y de las exigencias del proceso. Para controlar que la velocidad del motor sea la óptima, se emplean controladores de velocidad llamados variadores de frecuencia o de velocidad.

Otra forma en que son conocidos los variadores de frecuencia son como *Drivers* ya sea de frecuencia ajustable (ADF) o de CA, VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia), microdrivers o inversores; esto depende en gran parte del voltaje que se maneje.

Figura 1. **Funcionamiento de un variador de frecuencia**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Microsoft Visio.

Los variadores de frecuencia están compuestos por:

- Etapa rectificadora: convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc.
- Etapa intermedia: filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos.
- Inversor: convierte la tensión continua en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBT's (Isolated Gate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones por sobrecorriente, sobretensión, baja tensión, cortocircuitos, puesta a masa del motor, sobretemperaturas, etc.

- Etapa de control: esta etapa controla los IGBT's para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Y además controla los parámetros externos en general, etc. Los variadores más utilizados emplean modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y se usan en la etapa rectificadora puente de diodos rectificadores. En la etapa intermedia se usan condensadores y bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia.

El Inversor o Inverter convierte la tensión continua de la etapa intermedia en una tensión de frecuencia y tensión variables. Los IGBT's envían pulsos de duración variable y se obtiene una corriente casi senoidal en el motor. La frecuencia portadora de los IGBT's se encuentra entre 2 a 16kHz. Una portadora con alta frecuencia que reduce el ruido acústico del motor pero disminuye el rendimiento del mismo y la longitud permisible del cable hacia el motor. Por otra parte, los IGBT's generan mayor calor. Las señales de control para arranque, parada y variación de velocidad (potenciómetro o señales externas de referencia) están aisladas galvánicamente para evitar daños en sensores o controles y evitar ruidos en la etapa de control.

- Ventajas de la utilización de los variadores de frecuencia: la implementación de un variador de frecuencia en un motor eléctrico, generalmente es una labor donde deben coordinarse aspectos del proceso tales como mecánicos, eléctricos y además incluir elementos electrónicos de control como PLC y otros. De forma general las principales ventajas de usar los variadores de velocidad son:
 - Disminución en el consumo energético del motor.
 - Prolongar la vida útil de la maquinaria.

- Evita el alto consumo energético al iniciar el proceso de una máquina.
- Aumentar la precisión de control en diversos dispositivos como ventiladores, compresores, etc.
- Disminuir los costos de mantenimiento y reparación de dispositivos como por ejemplo en su aplicación en bombas de agua.
- Reducción de estrés mecánico.
- Reducción de daño por cambios bruscos en cargas, pesos, flujos, entre otros.

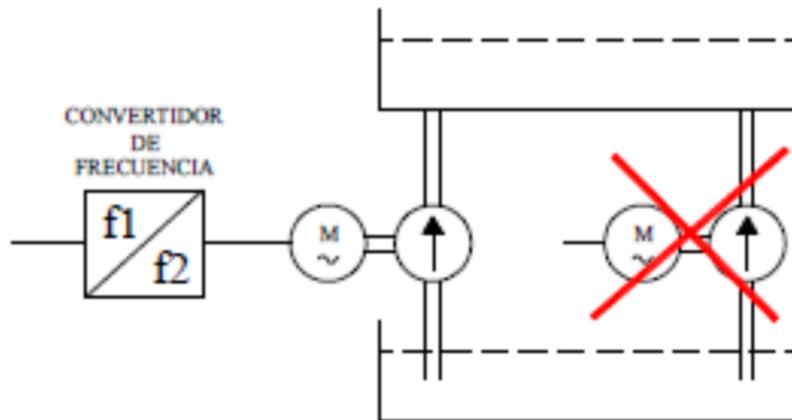
El uso de variadores de frecuencia en aplicaciones de bombeo, presentan las siguientes ventajas:

- Disminución del gasto de energía de la bomba: los principales costos asociados a un sistema de bombeo son la energía consumida, inversión inicial y su correspondiente mantenimiento. La disminución de la energía consumida por las bombas se reflejará directamente en la cuenta eléctrica de la industria.
- Menor costo de mantenimiento y reparación: al usar variadores de frecuencia se pueden reducir los costos de mantenimiento y reparación de las bombas, según:
 - Reducción del estrés mecánico de la bomba.

- Reducción de riesgos de cavitación.
- Reducción de daño en la bomba debido a cambios bruscos de flujo.
- Permite la aplicación de bombas en paralelo: los sistemas redundantes, controlados por los variadores de velocidad según la demanda de flujo solicitada.
- Reducción del número de bombas: el control del caudal se lleva a cabo frecuentemente mediante dos o más bombas de diferentes tamaños conectadas en paralelo, accionando sucesivamente estas bombas se consigue el control paso a paso, si se dota a la bomba más grande de un control de velocidad se consigue mejor control con una menor inversión, además de bombas y motores se pueden eliminar muchas válvulas y parte del sistema de tuberías.

Al controlar la velocidad mediante un convertidor de frecuencia no es necesario el uso de bombas de diferentes tamaños en paralelo, como lo muestra la figura 2:

Figura 2. **Convertidor de frecuencia para no utilizar bombas diferentes**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Microsoft Visio.

Figura 3. **Variador de frecuencia**



Fuente: www.industria.siemens.com.mx. Consulta: abril de 2014.

1.2. Bombas trifásicas

La explotación del agua subterránea exige la utilización de equipos especiales de bombeo, debido esencialmente a dos razones:

- El tamaño reducido de los pozos (usualmente entre 4 y 16 pulgadas de diámetro) no permite albergar una bomba del tipo convencional; y
- El nivel del agua dentro del pozo con respecto a la superficie supera ampliamente, en la mayoría de los casos, la máxima altura estática de succión permisible (máximo teórico 10,33 metros).

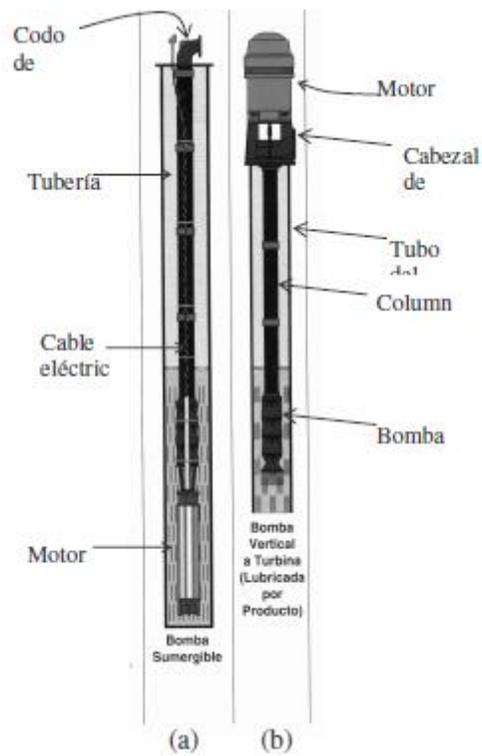
Ha sido necesario diseñar un tipo especial de bomba para instalarla dentro de los pozos y que consiste fundamentalmente en un grupo de impulsores de diámetro reducido montados en serie y acoplados a un mismo eje por medio de cual se transmite la potencia del motor. Todo el conjunto encerrado por una tubería que sirve de conducto del agua.

Las bombas sumergibles trifásicas ofrecen versatilidad y resistencia a los drenajes en una obra. Estas bombas ofrecen grandes prestaciones con una pequeña inversión. La gama de alto rendimiento es capaz de trabajar con sólidos hasta 20 mm y son ideales para aquellas obras que necesiten un drenaje rápido y fiable.

- Tipos de turbina normal: de manera general esta bomba consta de:
 - El motor eléctrico con el cabezal y engranaje (este último, solo si es necesario).

- La columna, la cual, comprende el eje de transmisión con sus cojinetes y tubo de conducción.
- La bomba, o juego de tazones e impulsores, y
- El tubo de succión y coladera.

Figura 4. **Equipo de bombeo para pozo profundo**



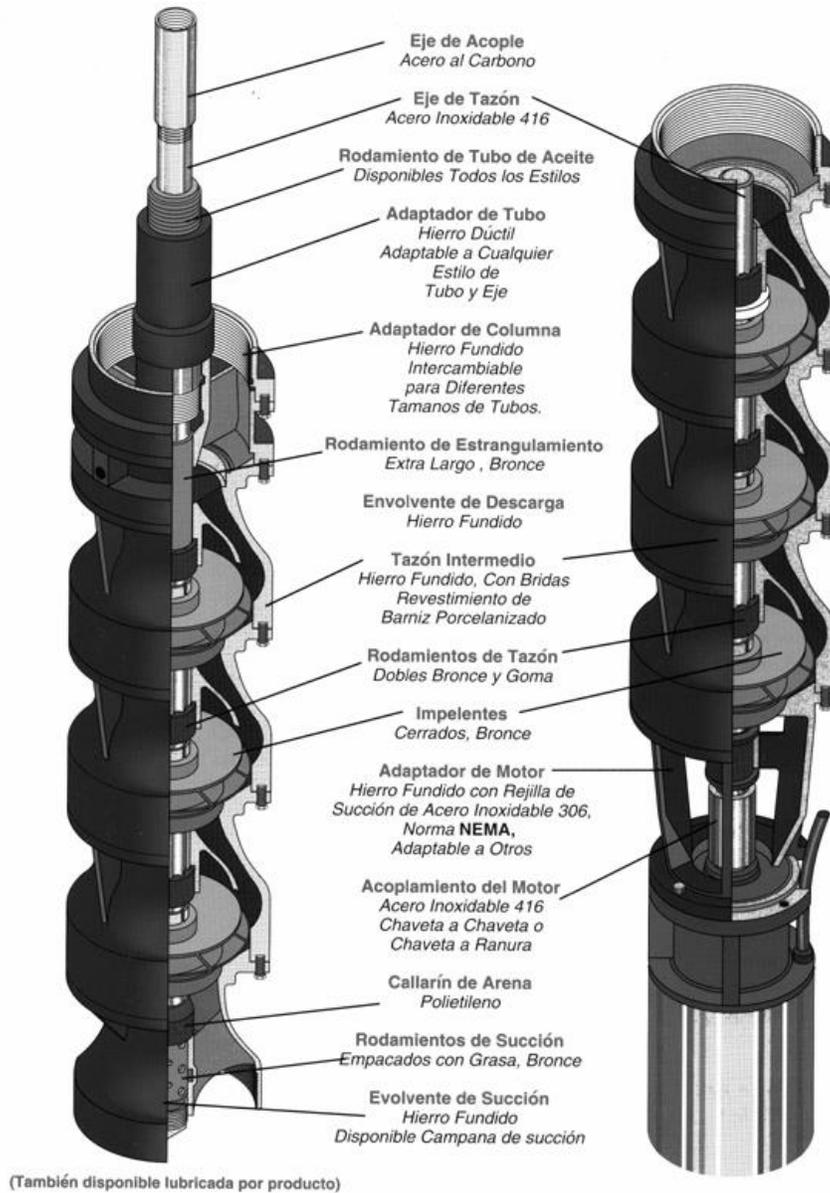
Fuente: Vertical turbine & submersible pumps, American.

- Las partes principales de este equipo de bombeo son:
 - El motor eléctrico generalmente es de eje vertical con flecha hueca, a través de la cual se realiza el acople con el eje de la bomba. Cuando se requiere para la bomba una velocidad diferente a la disponible por los motores eléctricos, es necesario un engranaje de ángulo recto para transmitir la potencia. En este caso el motor eléctrico es de eje horizontal.
 - El cabezal forma la base de apoyo para el conjunto de la bomba.
 - Descansa sobre un cimiento de concreto construido sobre el tubo forro.
 - Por su parte superior se apoya el motor eléctrico o el cabezal de engranes, según el caso; en su parte inferior, lleva la conexión para el tubo de la columna (vertical), y a un extremo va acoplada la tubería de conducción (horizontal); en su parte central, posee un sello (estopero) entre el tubo protector y la flecha o eje.
 - La columna lubricada por agua es la más frecuente en sistemas de bombeo, aunque existe también, la columna lubricada por aceite, por lo cual, se describe únicamente la primera. Está constituida por el tubo vertical por el cual se conduce el agua, en cuyo interior se encuentra alojado el eje de transmisión de potencia hacia la bomba. Este eje es mantenido en su centro por una serie de bujes de goma especial (arañas) instalados cada cierta distancia, los cuales son lubricados por el mismo fluido bombeado. Debido a la eventual presencia de arena en el agua,

para disminuir el desgaste del eje en los puntos de contacto con los bujes se aplica un manguito de acero inoxidable muy duro.

- Tipo de turbina vertical: este tipo de bomba lleva el motor acoplado en su parte inferior y en consecuencia permanecen sumergidos juntos dentro del agua que se bombea, tal como lo muestra la figura. El uso de este tipo de bomba presentan convenientes con respecto al tamaño reducido que se tiene para montar conjuntamente a la bomba y al motor con el cable de alimentación de este último y a la necesidad de extremar las condiciones de protección por la permeabilidad al agua. No obstante este tipo de equipo tiene grandes ventajas con respecto a la bomba con motor en la superficie.

Figura 5. **Bomba para pozo profundo**



Fuente: Vertical turbine & submersible pumps, American.

Los fundamentos descritos para la bomba centrífuga horizontal en cuanto a la succión, son también válidos para el caso de las bombas para pozo profundo; sin embargo, en estas últimas, la única variable con la que

generalmente se puede jugar para prevenir la cavitación o formación de vórtices (entrada de aire en la succión), es la altura estática de succión, es decir, la sumergimiento de la bomba.

Una situación especial ocurre en el caso de las bombas con motor sumergible. Debido a que el enfriamiento del motor es realizado por el mismo flujo bombeado, en algunos casos es necesario colocarle al motor un tubo a manera de camisa, desde la parte superior de la coladera de succión de la bomba hasta la parte inferior del motor, con el objeto de asegurar que la totalidad del flujo succionado por la bomba, enfríe el cuerpo del motor. La instalación de este tubo en la succión, en algunos casos deberá evaluarse como fricción adicional, pues, puede necesitar la bomba mayor sumergencia, para evitar efectos indeseables. Generalmente el fabricante proporciona las curvas de sumergimiento y de (NPSH) R contra caudal, por etapa, a una velocidad de operación especificada.

1.3. Sensores de presión

Los sensores de presión sofisticados funcionan a base de celdas de carga y de sus respectivos amplificadores electrónicos, y se basan en el conocido puente de Wheatstone, donde una de sus piernas está ocupada por el sensor. Este sensor es básicamente una resistencia variable en un sustrato que puede ser deformado, y lo cual ocasiona el cambio en el valor de la mencionada resistencia. Los sensores comunes de presión son interruptores eléctricos movidos por una membrana o un tubo Bourdón.

El tubo Bourdón se abre hacia afuera con el aumento de presión y este movimiento es transmitido a un interruptor, el cual es accionado cuando la posición del tubo corresponde con un ajuste preseleccionado. En el caso de los

interruptores de presión por diafragma, la fuerza provocada por la presión sensada actúa sobre un resorte, el cual al ser vencido actúa sobre un microinterruptor. Es obvio que el resorte determina el rango de presión de operación.

Figura 6. **Transductores de presión industriales**



Fuente: Grundfos Inc. Catálogo para bombas sumergibles.

1.4. **Guarda motor**

“Son dispositivos eléctricos que actúan en caso que haya un sobrecalentamiento de la temperatura nominal de funcionamiento del motor, al igual que una alimentación de corriente o tensión superior a la estipulada.”¹

¹ MIZHANI, Daniel. *Sistema de elevación vertical*. Universidad Simón Bolívar.

Figura 7. **Guardamotor**



Fuente: MIZHANI, Daniel. *Sistema de elevación vertical*. Universidad Simón Bolívar.

1.5. **Fusibles ultra rápidos**

Los semiconductores necesitan para su protección fusibles especiales, que deben tener unas características de corte muy rápidas que evite la destrucción de los semiconductores como tiristores y diodos. Los fusibles ultrarrápidos interrumpen las sobrecargas en tiempos de operación muy inferiores a los fusibles normales, mediante unas curvas aM y gR.

1.6. **Breaker**

El *breaker* protegen los circuitos contra cortos y sobre cargas, se conectan en serie con el circuito, también vienen especificados por su capacidad. Como por ejemplo 5 Amp., 10 Amp., 15 Amp., 20 Amp., 30 Amp., 40 Amp., 50 Amp., entre otros.

Figura 8. **Breaker**



Fuente: MIZHANI, Daniel. *Sistema de elevación vertical*. Universidad Simón Bolívar.

1.7. **Contactores**

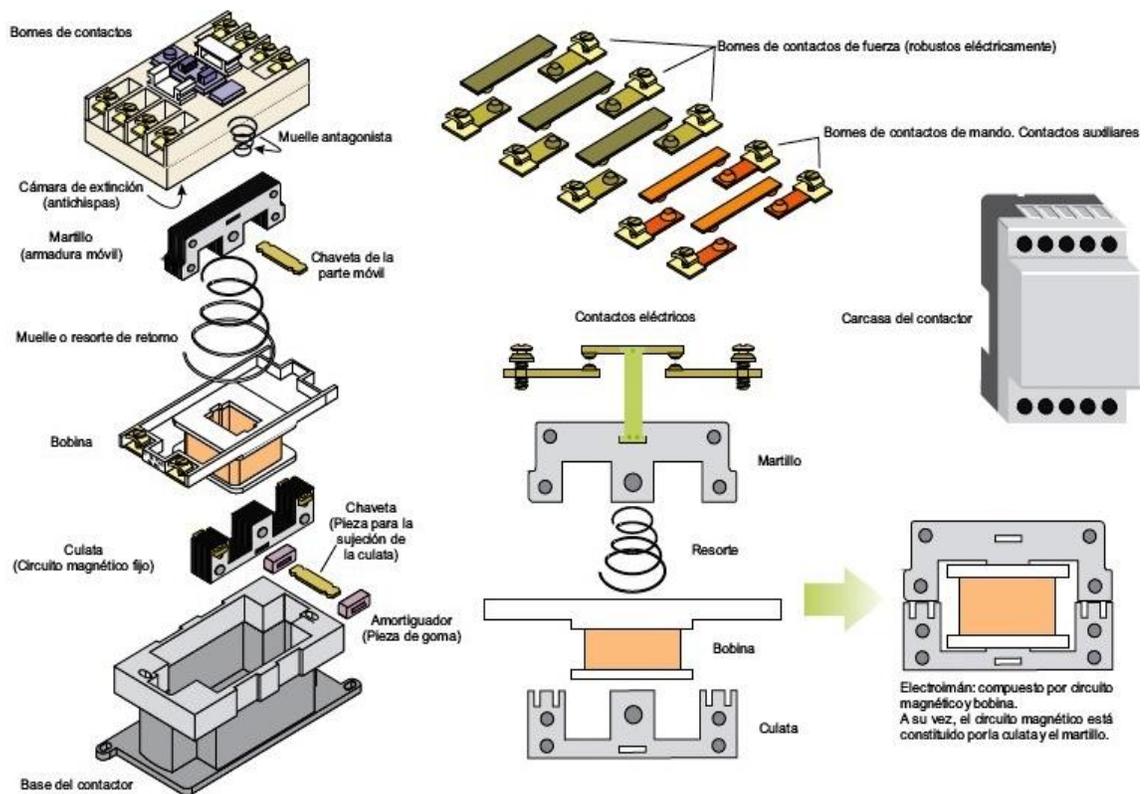
Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción.

- Clasificación de los contactores
 - Contactores electromagnéticos su accionamiento se realiza a través de un electroimán.
 - Contactores electromecánicos se accionan con ayuda de medios mecánicos.
 - Contactores neumáticos se accionan mediante la presión de un gas.
 - Contactores hidráulicos se accionan por la presión de un líquido.

- Constitución de un contactor electromagnético
 - Contactos principales son los destinados a abrir y cerrar el circuito de potencia. Están abiertos en reposo.
 - Contactos auxiliares son los encargados de abrir y cerrar el circuito de mando. Están acoplados mecánicamente a los contactos principales y pueden ser abiertos o cerrados.
 - Bobina. elemento que produce una fuerza de atracción (FA) al ser atravesado por una corriente eléctrica. Su tensión de alimentación puede ser de 12, 24 y 220V de corriente alterna, siendo la de 220V la más usual.
 - Armadura parte móvil del contactor. Desplaza los contactos principales y auxiliares por la acción (FA) de la bobina.

- Núcleo parte fija por la que se cierra el flujo magnético producido por la bobina.
- Resorte es un muelle encargado de devolver los contactos a su posición de reposo una vez cesa la fuerza FA.

Figura 9. Partes del contactor



Fuente: Schneider Electric. *Manual electrotécnico telesquemario telecanique.*

Para elegir el contactor que más se ajusta a nuestras necesidades, se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- Tipo de corriente, tensión de alimentación de la bobina y la frecuencia.
- Potencia nominal de la carga.
- Condiciones de servicio: ligera, normal, dura, extrema. Existen maniobras que modifican la corriente de arranque y de corte.
- Si es para el circuito de potencia o de mando y el número de contactos auxiliares que necesita.
- Para trabajos silenciosos o con frecuencias de maniobra muy altas es recomendable el uso de contactores estáticos o de estado sólido.
- Por la categoría de empleo.

Los contactores presentan ventajas en cuanto a los siguientes aspectos y por los cuales es recomendable su utilización:

- Automatización en el arranque y paro de motores.
- Posibilidad de controlar completamente una máquina, desde varios puntos de maniobra o estaciones.
- Seguridad del personal, dado que las maniobras se realizan desde lugares alejados del motor u otro tipo de carga, y las corrientes y tensiones que se manipulan con los aparatos de mando son o pueden ser pequeños.

- Control y automatización de equipos y máquinas con procesos complejos, mediante la ayuda de los aparatos auxiliares de mando, como interruptores de posición, detectores inductivos, reóstatos, temporizadores, etc.

1.8. Diagrama de fuerza

Un diagrama elemental de fuerza representa la capacidad eléctrica que transporta cada línea en el circuito, el cual servirá para alimentar los aparatos eléctricos, maquinas.

1.9. Diagrama de control

Un diagrama elemental que permite la comprensión del circuito más fácil y rápido. Los dispositivos o componentes no se muestran en su posición actual, aquí, todos los componentes del circuito de control se presentan de la forma más directa posible entre un par de líneas verticales que representan el control de la fuente de alimentación de fuerza. La colocación de los elementos o componentes está diseñada para mostrar la secuencia de operación de los dispositivos y esto nos ayuda a comprender la forma en que opera el circuito, esta forma de diagrama eléctrico también es llamado diagrama esquemático o lineal.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS LENGUAJES Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

2.1. Fundamentos

Para que se transmita la información de una computadora a otra, se necesita tener una red que sea el enlace, tanto como computadoras y máquinas automatizadas. Esto se realiza gracias a la utilización de paquete, el cual consiste en un conjunto de *bits* que forman un solo bloque de datos, y que contiene una cabecera formado por información de control como es el emisor, el receptor, y datos de control de errores, además del mismo mensaje. Debido a que son unidades de datos de red similares, los términos paquete y trama se utilizan indistintamente.

Las computadoras y otros equipos de la red utilizan esta información para ayudar al paquete a llegar a su destino

- Existen básicamente existen dos grandes familias de redes
 - Redes de área local (LANs)
 - Redes de área amplia (WANs)

2.1.1. Terminología y conceptos básicos

Una red informática está compuesta por equipos que están conectados entre sí mediante líneas de comunicación (cables de red, etc.) y elementos de hardware (adaptadores de red y otros equipos que garantizan que los datos viajen correctamente). La configuración física, es decir la configuración espacial de la red, se denomina topología física. Los diferentes tipos de topología son:

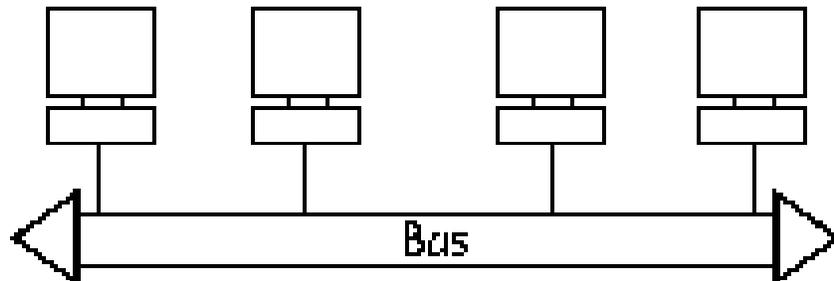
- Topología de bus
- Topología de estrella
- Topología en anillo
- Topología de árbol
- Topología de malla

La topología lógica, a diferencia de la topología física, es la manera en que los datos viajan por las líneas de comunicación. Las topologías lógicas más comunes son Ethernet, Red en anillo y FDDI.

- Topología de bus: la topología de bus es la manera más simple en la que se puede organizar una red. En la topología de bus, todos los equipos están conectados a la misma línea de transmisión mediante un cable, generalmente coaxial. La palabra bus hace referencia a la línea física que une todos los equipos de la red.

La ventaja de esta topología es su facilidad de implementación y funcionamiento. Sin embargo, esta topología es altamente vulnerable, ya que si una de las conexiones es defectuosa, esto afecta a toda la red.

Figura 10. **Topología del bus**



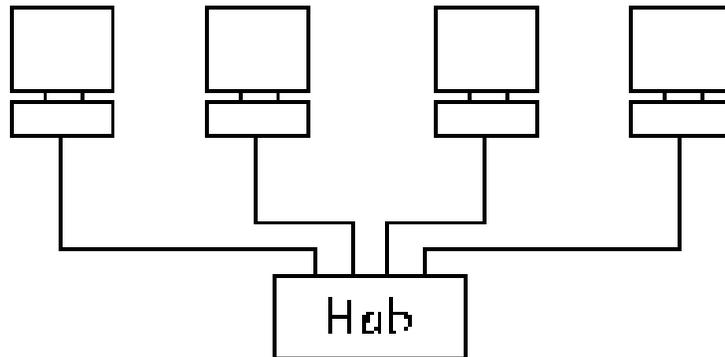
Fuente: elaboración propia, con base al programa Microsoft Visio.

- Topología de estrella: los equipos de la red están conectados a un hardware denominado concentrador. Es una caja que contiene un cierto número de *sockets* a los cuales se pueden conectar los cables de los equipos. Su función es garantizar la comunicación entre esos *sockets*.

A diferencia de las redes construidas con la topología de bus, las redes que usan la topología de estrella son mucho menos vulnerables, ya que se puede eliminar una de las conexiones fácilmente desconectándola del concentrador sin paralizar el resto de la red. El punto crítico en esta red es el concentrador, ya que la ausencia del mismo imposibilita la comunicación entre los equipos de la red.

Sin embargo, una red con topología de estrella es más cara que una red con topología de bus, dado que se necesita hardware adicional (el concentrador).

Figura 11. **Topología estrella**

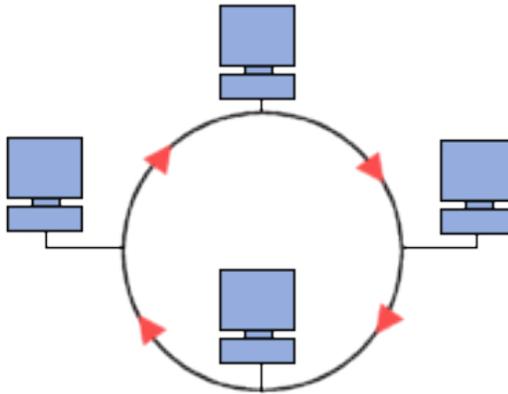


Fuente: elaboración propia, con base al programa Microsoft Visio.

- Topología en anillo: los equipos se comunican por turnos y se crea un bucle de equipos en el cual cada uno "tiene su turno para hablar" después del otro.

En realidad, las redes con topología en anillo no están conectadas en bucles. Están conectadas a un distribuidor (denominado MAU, Unidad de Acceso Multiestación) que administra la comunicación entre los equipos conectados a él, lo que le da tiempo a cada uno para "hablar".

Figura 12. **Topología anillo**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Microsoft Visio.

2.2. **Protocolos industriales de comunicación**

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas que permiten la transferencia e intercambio de datos entre los distintos dispositivos que conforman una red.

Debido a la importancia de la información transmitida, al ruido electromagnético, ambientes extremos y remotos dentro de las industrias las redes y los protocolos de comunicación industrial se vuelven indispensables para realizar un enlace entre las distintas etapas que conforman el proceso.

Las redes de comunicación poseen importantes ventajas, de las cuales figuran:

- Mayor precisión derivada de la integración de tecnología digital en las mediciones.

- Mayor y mejor disponibilidad de información de los dispositivos de campo.
- Diagnóstico remoto de componentes.

Esto da lugar a una estructura de redes industriales, las cuales es posible agrupar en tres categorías, buses de campo, redes LAN y redes LAN-WAN.

Los buses de datos que permiten la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso, reciben la denominación genérica de buses de campo. Un bus de campo es un sistema de transmisión de información (datos) que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción.

El objetivo de un bus de campo es sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional lazo de corriente de 4 -20 mA o 0 a 10V DC, según corresponda. Generalmente, son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLC's, transductores, actuadores, sensores y equipos de supervisión.

Varios grupos han intentado generar e imponer una norma que permita la integración de equipos de distintos proveedores. Sin embargo, hasta la fecha no existe un bus de campo universal.

Los buses de campo que se utilizarán en el proyecto son: protocolo HART, protocolo ModBus, protocolo Foundation FieldBus y protocolo DeviceNet.

2.2.1. Definición

También llamado protocolo de red o protocolo de comunicación, es el conjunto de reglas que especifican el intercambio de datos u órdenes durante la comunicación entre las entidades que forman parte de una red.

2.2.2. Protocolos industriales comunes

Los protocolos de comunicación de red más utilizados en las empresas están:

- DeviceNet
- ControlNet
- Ethernet

2.2.2.1. DeviceNet

DeviceNet es una red digital, multipunto para conexión entre sensores, actuadores y sistemas de automatización industrial en general. Esta tecnología fue desarrollada para tener máxima flexibilidad entre los equipos de campo e interoperabilidad entre diferentes fabricantes.

La red DeviceNet está clasificada en el nivel de red llamada devicebus, cuyas características principales son: alta velocidad, comunicación a nivel de byte que incluye comunicación con equipos discretos y analógicos y el alto poder de diagnóstico de los dispositivos de la red.

La tecnología DeviceNet es un estándar abierto de automatización con el objetivo de transportar 2 tipos principales de información:

- Datos cíclicos de sensores y actuadores, directamente relacionados al control y,
- Datos no cíclicos indirectamente relacionados al control, como configuración y diagnóstico.

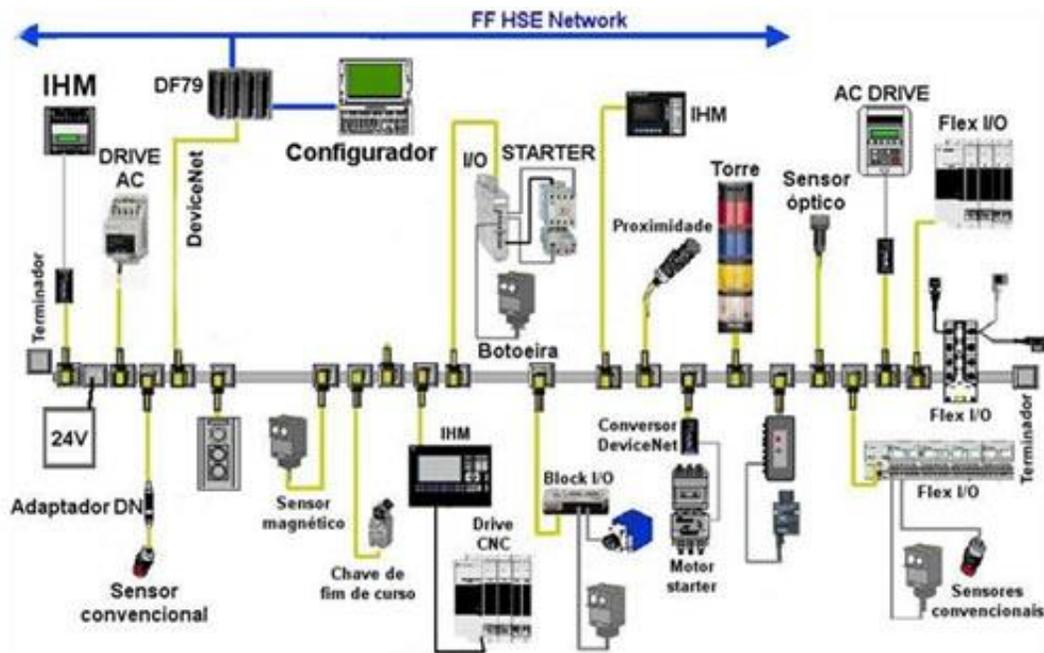
Los datos cíclicos representan la información intercambiada periódicamente entre el equipo de campo y el controlador. Por otro lado, los no cíclicos son informaciones intercambiadas eventualmente durante la configuración o diagnóstico del equipo de campo.

La capa física y de acceso a la red DeviceNet está basada en la tecnología CAN (*Controller Area Network*) y las capas superiores en el protocolo CIP, que define una arquitectura basada en objetos y conexiones entre ellos.

El CAN fue originalmente desarrollado por la BOSCH para el mercado de automóviles europeos para sustituir el cableado costoso por un cable en red de bajo costo en automóviles. Como resultado, el CAN tiene respuesta rápida y confiabilidad alta para aplicaciones principalmente en las áreas automovilística.

Una red DeviceNet puede tener hasta 64 dispositivos donde cada dispositivo ocupa un nodo en la red, direccionados de 0 a 63. Cualquiera de ellos puede ser utilizado. No hay ninguna restricción para el uso de ellos, aunque el uso de los 63 no es recomendable, ya que se utiliza para la puesta en marcha.

Figura 13. Ejemplo de red DeviceNet



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

- Características de la red
 - Topología basada en bus principal con ramificaciones. El bus principal debe ser hecho con el cable DeviceNet grueso, y las ramificaciones con el cable DeviceNet delgado o plano. Cables similares podrán usarse siempre y cuando sus características eléctricas y mecánicas sean compatibles con las especificaciones de los cables estándar DeviceNet.
 - Permite o uso de repetidores, bridges, ruteadores y *gateways*.

- Suporta hasta 64 nodos, incluyendo el maestro, direccionados de 0 a 63 (MAC ID).
- Cable de 2 pares: uno para alimentación de 24 V y otro para comunicación.
- Capacidad de insertar y cambiar en caliente, sin interrumpir a la red
- Compatible con equipos alimentados por la red de 24 V o como que tengan su propia fuente.
- Uso de conectores abiertos o cerrados.
- Protección contra conexión inversa y corto-circuito.
- Alta capacidad de corriente en la red (hasta 16 A).
- Usa la misma energía de la fuente de alimentación.
- Varias fuentes pueden ser usadas en la misma red para satisfacer las necesidades de la aplicación en términos de carga y la longitud de los cables.
- Velocidad de comunicación seleccionable: de 125 250 y 500 kbps.
- Comunicación basada en conexiones de E/S y modelo de pregunta y respuesta.

- Diagnóstico de cada equipo y de la red.
 - Transporte eficiente de datos de control discretos y analógicos.
 - Detección de direccionamiento duplicado en la red.
 - Mecanismo de comunicación extremadamente robusto para interferencias electromagnéticas.
- Protocolo DeviceNet: DeviceNet es una de las tres tecnologías de redes abiertas y estandarizadas, cuya capa de aplicación usa el CIP (*Common Application Layer* – Capa de Aplicación Común). Al lado de *ControlNet* y *EtherNet/IP*, posee una estructura común de objetos. Es decir, es independiente del medio físico y de la capa de enlace de datos. Esta capa es una capa de aplicación estándar, integrada a interfaces de hardware y software abiertas, constituye una plataforma de conexión universal entre componentes en un sistema de automatización, desde la fábrica hasta el nivel de internet.
 - Modos de comunicación: el protocolo DeviceNet tiene dos tipos básicos de mensajes, mensaje cíclico I/O y explícito. Cada uno de ellos es adecuado a un determinado tipo de dato, conforme se describe abajo:
 - Cíclic I/O: tipo de telegrama síncrono dedicado al procesamiento de datos prioritarios entre un productor y uno o más consumidores. Se dividen de acuerdo con el método de intercambio de datos. Los principales son:

- Polled: método de comunicación en que el maestro envía un telegrama a cada uno de su lista de esclavos (*scan list*). Asimismo, en cuanto reciba la solicitud, el esclavo responde rápidamente a la solicitud del maestro. Este proceso es repetido hasta que todos sean consultados, reiniciando el ciclo.

- Bit-strobe: método de comunicación donde el maestro envía un telegrama por la red con 8 bytes de datos. Cada bit de estos 8 bytes representa un esclavo que, se direcciona y responde de acuerdo con lo programado.

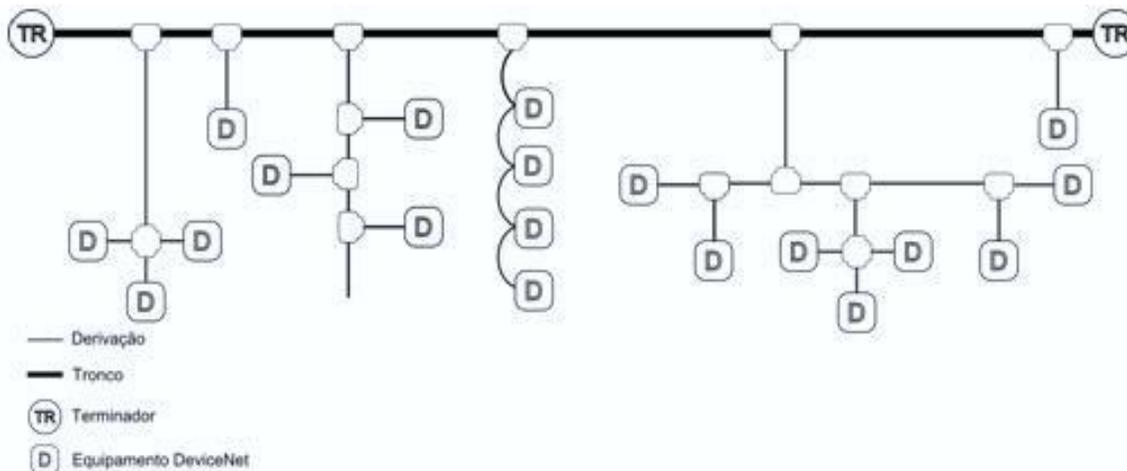
- Cambio de estado: método de comunicación donde el intercambio de datos entre el maestro y esclavo que ocurre cuando hubo cambios en los valores monitoreados/controlados, hasta un cierto límite de tiempo. Cuando este límite es alcanzado, la transmisión y recepción ocurren, incluso sin alteraciones. La configuración de esta variable de tiempo es hecha en el programa de configuración de la red.

- Cíclico: otro método de comunicación muy semejante al anterior. La única diferencia está en la producción y consumo de mensajes. En este tipo, todo el intercambio de datos ocurre en intervalos regulares de tiempo, independiente de ser alterados o no. Este periodo también es ajustado en el software de configuración de la red.

- Mensaje explícito: tipo de telegrama de uso general y no prioritario. Utilizado principalmente en tareas asíncronas tales como parametrización y configuración del equipo.
- Archivo de configuración: todo nodo DeviceNet tiene un archivo de configuración asociado, llamado EDS (*Electronic Data Sheet*). Este archivo contiene informaciones importantes sobre el funcionamiento del dispositivo y debe ser registrado en el software de configuración de la red.
- DeviceNet usa una topología de red del tipo bus principal/derivación que permite que tanto para el cableado de la señal como el de la alimentación estén presentes en el mismo cable. Esta alimentación es suministrada por una fuente conectada directamente en la red, y posee las siguientes características:
 - 24 Vdc
 - Salida DC aislada de la entrada AC;
 - Capacidad de corriente compatible con los equipos instalados.
 - El tamaño total de la red varía de acuerdo con la velocidad de transmisión (125 250, 500 kbps)

- Topología de la red: las especificaciones de DeviceNet definen la topología y los componentes admisibles. La variedad de topologías posibles se muestra en la figura siguiente.

Figura 14. **Topología posible de la red DeviceNet**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

La especificación también trata del sistema de aterrizamiento, mezcla entre el cable grueso y delgado (*thick* y *thin*), terminadores, y energía de alimentación.

La topología básica con derivación principal (*“trunkline-dropline”*) utiliza 1 cable (2 pares trenzados separados para alimentación y señal). El cable grueso (*thick*) o delgado (*thin*) puede ser usado para líneas principales o verticales. La distancia entre los extremos de la red varía con la velocidad de datos y la longitud del cable.

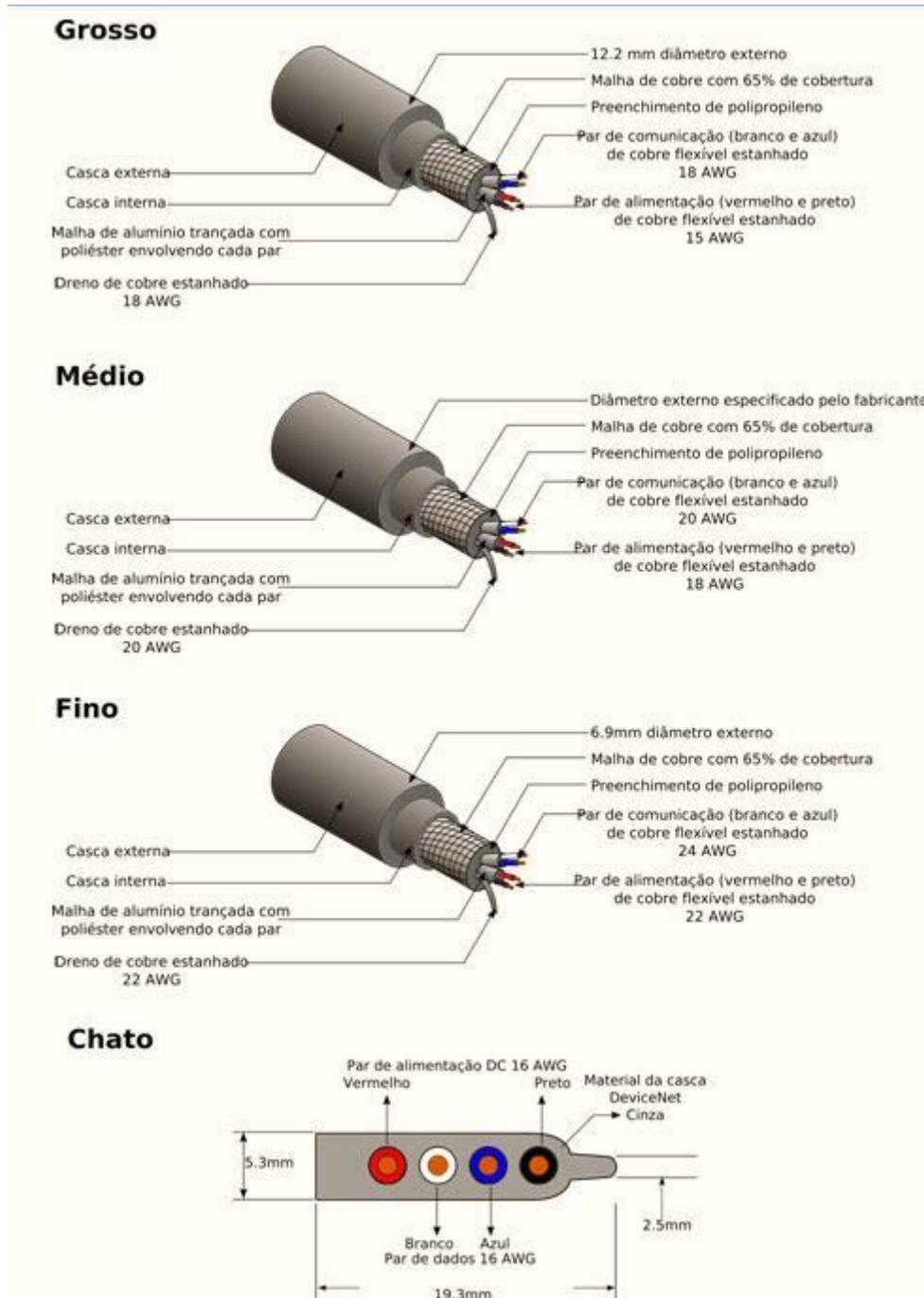
Tabla I. **Velocidad de datos y distancia de extremos de la red**

VELOCIDAD DE DATOS	125 kbps	250 kbps	500 kbps
Longitud del Bus principal con cable grueso ("thick-trunk")	500 m	250 m	100 m
Longitud del Bus principal con cable delgado ("thin-trunk")	100 m	100 m	100 m
Longitud máxima para 1 derivación del bus principal ("maximum-drop")	6 m	6 m	6 m
Longitud de las derivaciones agregadas al bus principal ("cumulative-drop")	156 m	78 m	39 m

Fuente: elaboración propia.

- Cables: hay 4 tipos de cables estandarizados: el grueso, mediano, delgado y plano. El más común o usado es el cable grueso para el bus y el cable fino para las derivaciones.

Figura 15. Tipos de cables



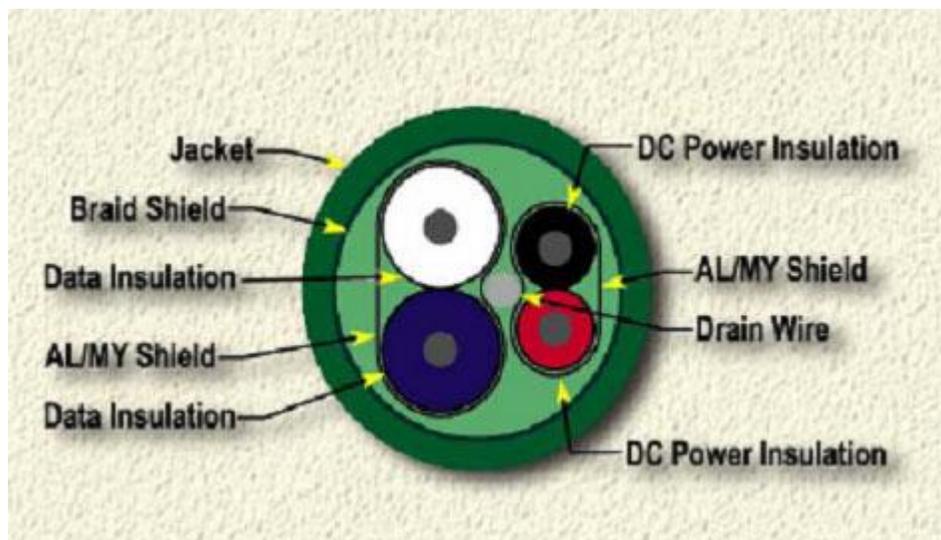
Fuente: www.smar.com. Consulta abril 2014.

Tabla II. **Esquema de colores de los cables DeviceNet**

Color del cable	Señal	Cable redondo	Cable chato
Blanco	CAN_H	Sinal DN	Sinal DN
Azul	CAN_L	Sinal DN	Sinal DN
Alambre desnudo	Dreno	Protección	No usado
Negro	V-	Alimentación	Alimentación
Rojo	V+	Alimentación	Alimentación

Fuente: www.smar.com. Consulta abril 2014.

Figura 16. **Vista de los componentes de cable para DeviceNet**



Fuente: www.smar.com. Consulta abril 2014.

- Conectores: hay tres tipos básicos de conectores: abierto, minicerrado y microcerrado. El uso de uno o de otro depende de la aplicación y de las características del equipo o de la conexión que debe ser hecha.

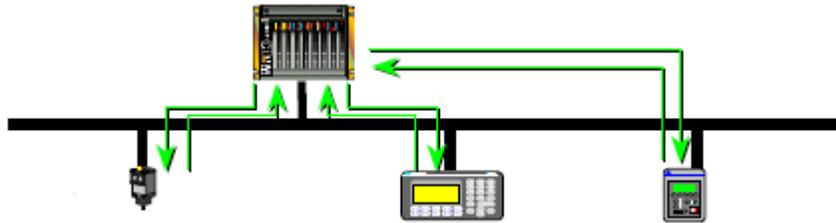
2.2.2.2. ControlNet

ControlNet es una red abierta de control en tiempo real, determinista, repetible y de alta velocidad que integra PLC, E/S, variadores, etc.

Dado que ControlNet se basa en una arquitectura productor/consumidor, permite que múltiples controladores trabajen en el mismo sistema. Esto significa que varios PLC o otros controladores pueden controlar sus propias E/S y comunicarse entre ellos mediante la red, ahorrando costes y eliminándolas necesidades de mantener redes individuales para realizar la misma función.

- Modos de trabajo de redes de datos y control en general.
 - Master/Slave (maestro/esclavo): un maestro, múltiples esclavos. Los dispositivos esclavos únicamente intercambian información con el dispositivo maestro.

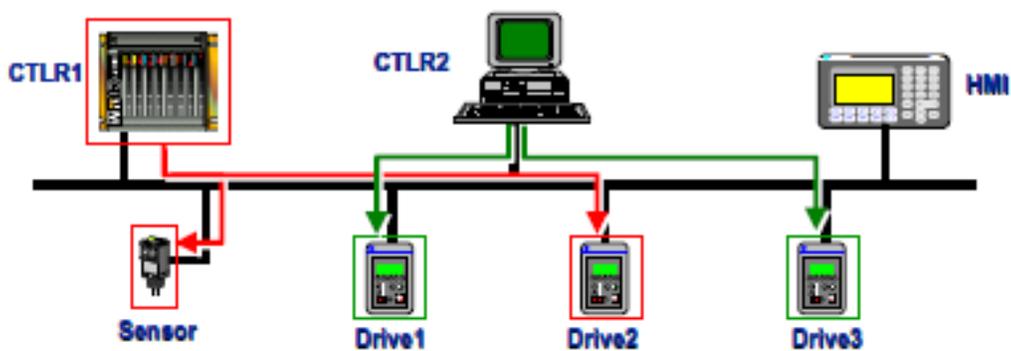
Figura 17. **Modelo maestro/esclavo**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

- Multimaster (multimaestro): más de un maestro en el mismo sistema, cada maestro tiene su grupo de esclavos. Los dispositivos esclavos únicamente intercambian información con sus maestros.

Figura 18. **Método multimaster**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

2.2.2.3. Ethernet/IP

Ethernet (también conocido como *estándar* IEEE 802.3) es un estándar de transmisión de datos para redes de área local que se basa en el siguiente principio: todos los equipos en una red Ethernet están conectados a la misma línea de comunicación compuesta por cables cilíndricos.

Se distinguen diferentes variantes de tecnología Ethernet según el tipo y el diámetro de los cables utilizados:

- 10Base2: el cable que se usa es un cable coaxial delgado, llamado *thin* Ethernet.
- 10Base5: el cable que se usa es un cable coaxial grueso, llamado *thick* Ethernet.
- 10Base-T: se utilizan dos cables trenzados (la T significa *twisted pair* o par trenzado) y alcanza una velocidad de 10 Mbps.
- 100Base-FX: permite alcanzar una velocidad de 100 Mbps al usar una fibra óptica multimodo (la F es por *Fiber*).
- 100Base-TX: es similar al 10Base-T pero con una velocidad 10 veces mayor (100 Mbps).
- 1000Base-T: utiliza dos pares de cables trenzados de categoría 5 y permite una velocidad de 1 Gigabite por segundo.
- 1000Base-SX: se basa en fibra óptica multimodo y utiliza una longitud de onda corta (la S es por *short*) de 850 nanómetros (770 a 860 nm).

- 1000Base-LX: se basa en fibra óptica multimodo y utiliza una longitud de onda larga (la L es por *long*) de 1350 nanómetros (1 270 a 1 355 nm).

Tabla III. **Tecnología Ethernet**

Abreviatura	Nombre	Cable	Conector	Velocidad	Puertos
10Base2	Ethernet delgado (Thin Ethernet)	Cable coaxial (50 Ohms) de diámetro delgado	BNC	10 Mb/s	185 m
10Base5	Ethernet grueso (Thick Ethernet)	Cable coaxial de diámetro ancho (10,16 mm)	BNC	10Mb/s	500 m
10Base-T	Ethernet estándar	Par trenzado (categoría 3)	RJ-45	10 Mb/s	100 m
100Base-TX	Ethernet veloz (Fast Ethernet)	Doble par trenzado (categoría 5)	RJ-45	100 Mb/s	100 m
100Base-FX	Ethernet veloz (Fast Ethernet)	Fibra óptica multimodo (tipo 62,5/125)		100 Mb/s	2 km
1 000Base-T	Ethernet Gigabit	Doble par trenzado (categoría 5)	RJ-45	1 000 Mb/s	100 m
1 000Base-LX	Ethernet Gigabit	Fibra óptica monomodo o multimodo		1 000 Mb/s	550 m
1 000Base-SX	Ethernet Gigabit	Fibra óptica multimodo		1 000 Mbit/s	550 m
10GBase-SR	Ethernet de 10 Gigabits	Fibra óptica multimodo		10 Gbit/s	500 m
10GBase-LX4	Ethernet de 10 Gigabits	Fibra óptica multimodo		10 Gbit/s	500 m

Fuente: elaboración propia.

- El principio de transmisión: todos los equipos de una red Ethernet están conectados a la misma línea de transmisión y la comunicación se lleva a cabo por medio de la utilización un protocolo denominado CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect* que significa que es un protocolo de acceso múltiple que monitorea la portadora: detección de portadora y detección de colisiones).

Con este protocolo cualquier equipo está autorizado a transmitir a través de la línea en cualquier momento y sin ninguna prioridad entre ellos. Esta comunicación se realiza de manera simple:

- Cada equipo verifica que no haya ninguna comunicación en la línea antes de transmitir.
- Si dos equipos transmiten simultáneamente, entonces se produce una colisión (o sea, varias tramas de datos se ubican en la línea al mismo tiempo).
- Los dos equipos interrumpen su comunicación y esperan un período de tiempo aleatorio, luego una vez que el primero ha excedido el período de tiempo, puede volver a transmitir.
- Este principio se basa en varias limitaciones:
 - Los paquetes de datos deben tener un tamaño máximo.
 - Debe existir un tiempo de espera entre dos transmisiones.

- El tiempo de espera varía según la frecuencia de las colisiones:
- Luego de la primera colisión, un equipo espera una unidad de tiempo.
- Luego de la segunda colisión, un equipo espera dos unidades de tiempo.
- Luego de la tercera colisión, un equipo espera cuatro unidades de tiempo.

2.2.2.4. Otros

Existen otros protocolos de comunicación utilizados para la transferencia de datos entre los distintos dispositivos que conforman una red. Entre los cuales están:

- Protocolo HART: el protocolo HART (*high way-addressable-remote-transducer*-alta manera direccionable-remoto-transductor) agrupa la información digital sobre la señal analógica típica de 4 - 20 mA DC. La señal digital usa dos frecuencias individuales de 1 200 y 2 200 Hz, que representan los dígitos 1 y 0 respectivamente y que en conjunto forman una onda sinusoidal que se superpone al lazo de corriente de 4-20 mA. Como la señal promedio de una onda sinusoidal es cero, no se añade ninguna componente DC a la señal analógica de 4-20 mA, lo que permite continuar utilizando la variación analógica para el control del proceso.

- Protocolo *Foundation FieldBus*: Fundación FieldBus (FF) es un protocolo de comunicación digital para redes industriales, específicamente utilizado en aplicaciones de control distribuido. Puede comunicar grandes volúmenes de información, ideal para aplicaciones con varios lazos complejos de control de procesos y automatización. Está orientado principalmente a la interconexión de dispositivos en industrias de proceso continuo. Los dispositivos de campo son alimentados a través del bus FieldBus cuando la potencia requerida para el funcionamiento lo permite.
- Protocolo *ModBus*: *ModBus* es un protocolo de transmisión para sistemas de control y supervisión de procesos (SCADA) con control centralizado, puede comunicarse con una o varias estaciones remotas (RTU) con la finalidad de obtener datos de campo para la supervisión y control de un proceso. Las interfaces de capa física pueden estar configuradas en: RS-232, RS-422, RS-485. En ModBus, los datos pueden intercambiarse en dos modos de transmisión: modo RTU y modo ASCII.

3. SISTEMAS DE BOMBEO USANDO VARIADOR DE FRECUENCIA

3.1. Conceptos

Las necesidades de agua tradicionales pueden causar fluctuaciones en la presión del agua. Para lo cual se debe de buscar soluciones que sean fáciles de instalar y que aseguren la presión constante de agua u otro fluido independientemente de los niveles de descarga.

En aplicaciones de bombeo a presión constante, se realiza el montaje de un transmisor de presión en la línea de descarga y se conecta directamente hacia el variador para monitorear la realimentación de presión.

3.2. Tipos de sistemas

Existen diferentes sistemas que transforman la potencia mecánica de entrada en una potencia hidráulica de salida, en forma de suministro o caudal.

Esta convierte la energía que proviene de una primera máquina que puede ser un motor eléctrico, una turbina a gas o a vapor, etc., a otra energía que permite que un líquido sea bombeado por el aumento de presión y la velocidad.

Existen diferencia bombas hidráulicas entre las cuales están:

- Bomba dinámica
- Bomba de desplazamiento positivo

3.2.1. Una sola bomba

Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión. Están compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para posteriormente convertirse en energía hidráulica. El fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales de este y suministrándosele energía cinética mediante los álabes que se encuentran en el impulsor para posteriormente descargar el fluido en la voluta, el cual se expande gradualmente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión estática.

- Bomba centrífuga: es una máquina que consiste de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o cárter, o una cubierta o coraza. Se denominan así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza de esta misma acción. Así, despojada de todos los refinamientos, una bomba centrífuga tiene dos partes principales: (1) Un elemento giratorio, incluyendo un impulsor y una flecha, y (2) un elemento estacionario, compuesto por una cubierta, estoperas y chumaceras.

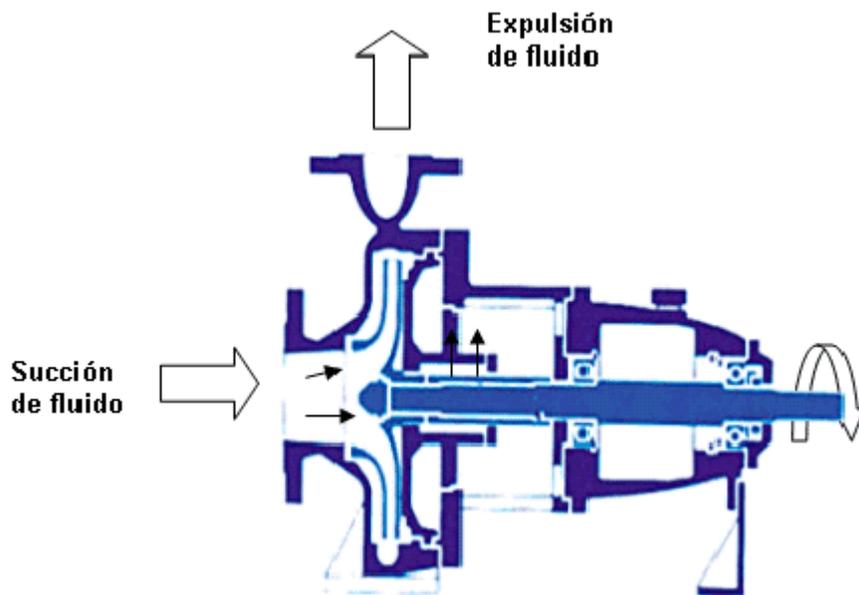
Figura 19. **Bomba centrífuga**



Fuente: www.weg.net. Consulta: abril 2014.

- **Funcionamiento:** el flujo entra a la bomba a través del centro o ojo del rodete y el fluido gana energía a medida que las paletas del rodete lo transportan hacia fuera en dirección radial. Esta aceleración produce un apreciable aumento de energía de presión y cinética, lo cual es debido a la forma de caracol de la voluta para generar un incremento gradual en el área de flujo de tal manera que la energía cinética a la salida del rodete se convierte en cabeza de presión a la salida.

Figura 20. **Principio de funcionamiento de bomba centrífuga**

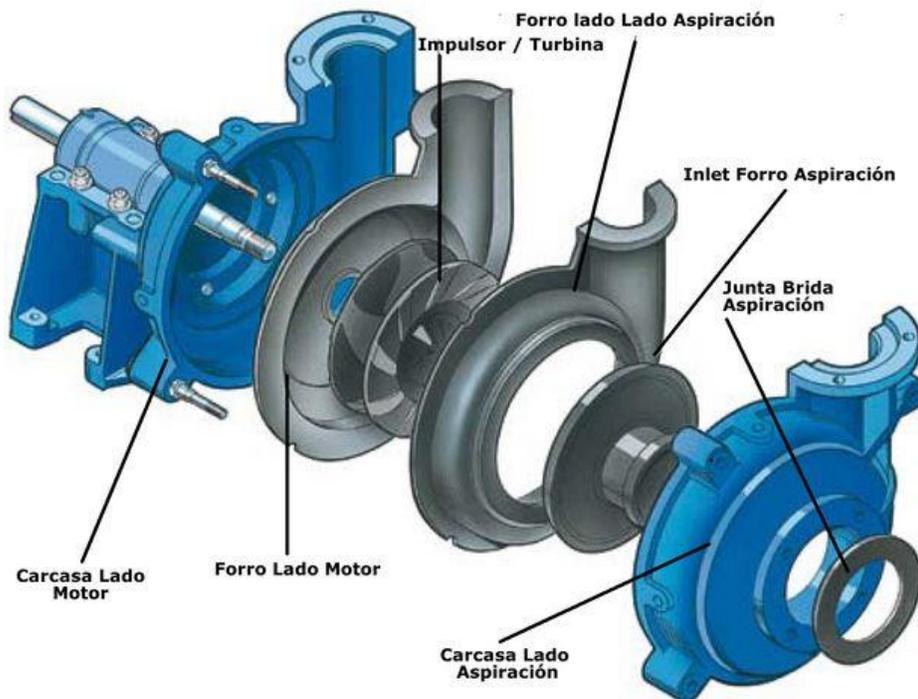


Fuente: www.weg.net. Consulta: abril 2014.

- Partes de una bomba centrífuga: se puede clasificar en parte hidráulica y eléctrica.
 - Partes hidráulicas:
 - Carcasa: es la parte exterior protectora de la bomba y cumple la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.

- Impulsores: es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.
- Anillos de desgaste: cumplen la función de ser un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde debido a las cerradas holguras entre el impulsor y la carcasa, el desgaste es casi seguro, evitando así la necesidad de cambiar estos elementos y quitar solo los anillos.
- Estoperas, empaques y sellos: la función de estos elementos es evitar el flujo hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.
- Flecha: es el eje de todos los elementos que giran en la bomba centrífuga, transmitiendo además el movimiento que imparte la flecha del motor.
- Cojinetes: sirven de soporte a la flecha de todo el rotor en un alineamiento correcto en relación con las partes estacionarias. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.
- Bases: sirven de soporte a la bomba, sosteniendo el peso de toda ella.

Figura 21. Partes de una bomba centrífuga



Fuente: www.weg.net. Consulta: abril 2014.

- Parte eléctrica: motor de inducción: las bombas hidráulicas son movidas por motores eléctricos de inducción. Este tipo de motor es el más utilizado actualmente, debido a su bajo costo de fabricación y mantención, su diseño es compacto logrando una máxima potencia por unidad de volumen. Otro factor que ha hecho este tipo de motor tenga una fuerte presencia en el mercado es que gracias a los adelantos de la electrónica de potencia se han desarrollado métodos de control más precisos y sofisticados, posicionándolos por sobre los motores de corriente continua que eran los más utilizados en aplicaciones industriales.

3.2.2. Multibomba

Sistema multibombas o sistema de bombeo con múltiples bombas se refiere al control de más de una bomba utilizando para eso solamente un convertidor de frecuencia para el control de la presión o caudal del sistema. El convertidor de frecuencia selecciona las bombas que irán funcionar en el sistema para mantener/controlar la presión de salida de un sistema de bombeo. Es hecho también un control de rotación entre las bombas posibilitando así, un uso por igual de las mismas.

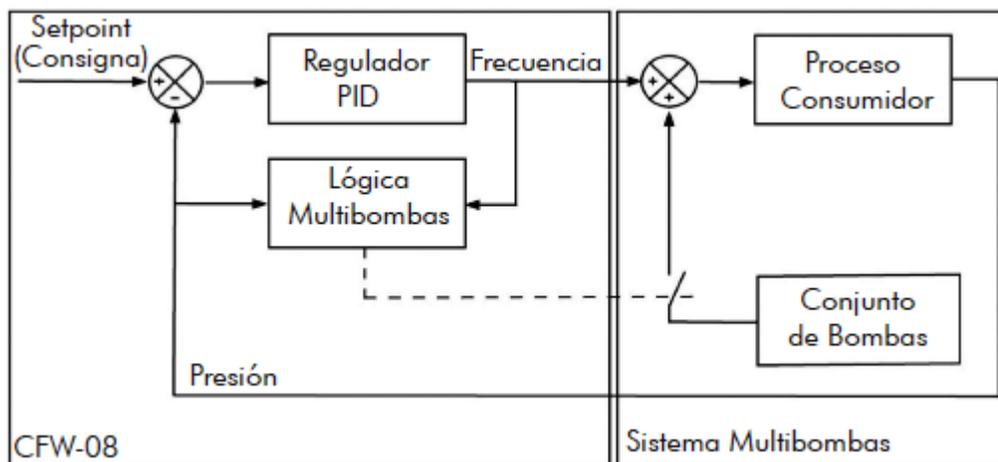
Para el control de la presión de salida del sistema, utilizase un controlador PID en conjunto con lógicas de arranque y de parada de las bombas auxiliares.

El sistema puede ser controlado 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.
- Ventajas de un sistema multibombas
 - Ahorro de energía
 - Mayor vida útil del sistema de bombeo.
 - Facilita el mantenimiento sin interrupciones de operación.

- Mantiene la presión de línea constante.
- Proporciona el caudal necesaria conforme la demanda del sistema
- Diagnósis de fallas en el sistema.
- Ecuálizaci3n del tiempo de operaci3n de las bombas, permitiendo así el desgaste uniforme de las mismas.

Figura 22. **Diagrama de bloques simplificado del control multibombas**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Microsoft Visio.

3.3. Aplicaciones

Siempre que tratemos temas como procesos químicos, y de cualquier circulación de fluidos se está, de alguna manera entrando en el tema de bombas.

El funcionamiento en sí de la bomba será el de un convertidor de energía, o sea, transformara la energía mecánica en energía cinética, generando presión y velocidad en el fluido.

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

- Las bombas de fábricas textiles manejan colorantes, agua, sulfuros de carbono, ácidos, sosa cáustica, sosa comercial, acetatos, solventes, decolorantes, alcoholes, sales, peróxidos de hidrógeno, sales, engomado y butano.

Se usan muchas bombas de medición y dosificación en las aplicaciones textiles para manejar las soluciones de decolorantes, control de pH del agua de lavado de las fibras sintéticas, control de color en el teñido, carbonización de la lana, etc.

- Las principales aplicaciones dentro de la industria siderúrgica son: enfriamiento de molinos, enfriamiento de hornos, servicios de suministro de agua, remoción de escoria en los lingotes, etc.

El proceso de remoción de escoria mediante el impacto de un chorro de agua, requiere bombas con presiones superiores a las 1 800 lb/plg² las cuales pueden descargar directamente o bien a través de una cámara de compensación.

Debido a que la industria siderúrgica tiene procesos continuos se requieren más bombas duraderas lo cual obliga al fabricante a usar materiales de alta resistencia.

- Las bombas que manejan aguas residuales tanto en pequeños sistemas industriales como en los grandes de bombeo de aguas negras de las ciudades, son bombas centrífugas con impulsores de flujo mixto o de flujo axial que pueden manejar gastos elevados con presiones moderadas.

El desalojo de aguas negras de las grandes ciudades se puede efectuar por gravedad o bombeo. La ventaja de este procedimiento reside en que no ocasiona costos altos de mantenimiento, aunque los costos de construcción suelen ser elevados.

- Generalmente las bombas para el manejo de alimentos o “bombas sanitarias” como también se las conoce, deben tener características especiales que no son necesarias en otros tipos de servicio. Para esta aplicación específica, las bombas sanitarias deben reunir las características siguientes:
 - Gran resistencia a la corrosión.
 - No deben producir espuma o triturar los alimentos.
 - Deben ser fáciles de limpiar interiormente.
 - Poseer un sistema de lubricación totalmente estanco.

- Tener el menos número de partes que se desgasten durante su funcionamiento.
- Sus empaques deben estar totalmente sellados del lado interior de la carcaza
- Las superficies interiores de las carcazas deben ser tersas y sin esquinas.

Las bombas generalmente están hechas de acero inoxidable, aluminio, hierro, cristal, porcelana u otras aleaciones especiales, las tuberías y accesorios son de acero inoxidable, aleaciones de níquel, hule duro, cristal o plástico.

Dichas bombas suelen ser centrífugas, rotatorias o reciprocantes y se fabrican en una gran variedad de tipos, según el fluido a manejar.

- Aplicaciones de los variadores de frecuencia: los variadores de frecuencia o de velocidad tienen una amplia gama de aplicaciones industriales, como por ejemplo:
 - Bombas centrífugas: en este caso los variadores permiten un control, ya sea de caudal determinado, de presión constante o de volumen variable. En este tipo de aplicaciones el variador de frecuencia permite gran ahorro de consumo eléctrico ya que permiten reemplazar sistemas con tanque hidroneumático, tanque en altura, etc.

- Ventiladores de aire acondicionado: en este caso también permite grandes ahorros de energía; se utilizan en extractores de aire, control de presurización, ventiladores, torres de enfriamiento, etc.
- Cintas o correas transportadoras: especialmente en el caso de procesos industriales donde las cintas transportan algunos elementos que deben coordinarse con otras maquinarias como por ejemplo envasado de productos.
- Bombas de desplazamiento positivo: similar al caso anterior se usan para regular caudales de líquidos o pastas que deben dosificarse, como por ejemplo pulpas de jugos, pulpa de celulosa, concentrados de la minería, etc.
- Extrusoras y prensas de tornillo: reemplazan sistemas hidráulicos tradicionales proporcionando una variación amplia de velocidad y control de torque, ejemplo extrusoras de plásticos, *snacks*, pasta, etc.
- Separadores centrífugos: realizan un arranque suave y progresivo de la centrífuga evitando los picos de corriente y las velocidades de resonancia del sistema.
- Ascensores: permiten un arranque y parada suave del ascensor pero manteniendo el torque, evitando así que los pasajeros sufran menos movimientos bruscos.
- Cambios de voltaje: controlan y protegen todos los equipos contra cambios súbitos de voltaje, cortocircuitos y voltajes excesivos.

- Ahorro de energía relacionado con la utilización de variadores de frecuencia: con ellos actualmente se puede variar la velocidad de un motor, esto permite controlar la velocidad en procesos donde las necesidades de flujo sean cambiantes.

La elección de la instalación de un variador de frecuencia como método de ahorro energético supone:

- Reducción del consumo.
- Control operativo, mejorando la rentabilidad y la productividad de los procesos reduciendo la velocidad de los motores cuando sea necesario.
- Minimización de pérdidas en motores e instalaciones.
- Ahorro en mantenimiento debido a que el motor trabajara siempre en las condiciones óptimas de funcionamiento.

En la actualidad se encuentran disponibles diferentes tipos de variadores de frecuencia, los que deben ser escogidos de acuerdo a la aplicación o carga que se desee controlar.

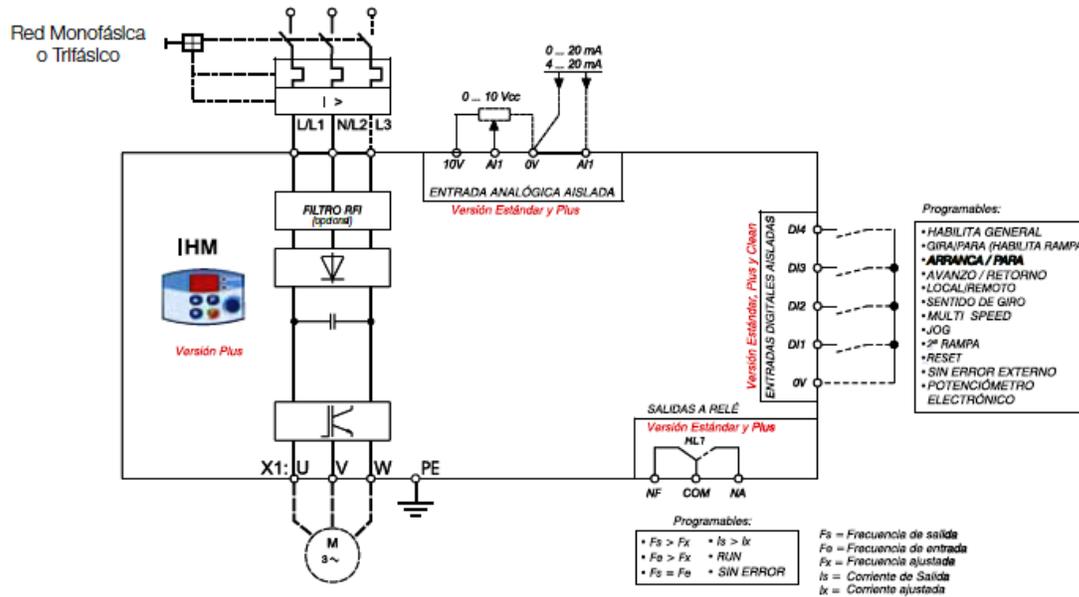
4. DISEÑO DEL SISTEMA

4.1. Física

Para la propuesta se sugiere utilizar un convertidor de frecuencia para el control de la velocidad en motores eléctricos de inducción trifásica, tal es el caso de una multibomba, el cual tiene una fácil instalación y operación. Para lo cual se recomienda que las características que debe de tener el convertidor de frecuencia sean las siguientes:

- Reducción considerable del ruido del motor
- Programación flexible
- Dimensiones compactas
- Instalación y operación simplificadas
- Alto par de arranque
- Kit para instalación en electroducto

Figura 23. Diagrama de bloque propuesto



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

4.2. Enlace de datos

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

- Modbus-RTU
- Profibus DP
- CANopen
- DeviceNet

Figura 24. **Protocolo de comunicación para el variador de frecuencia**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

4.3. Aplicación

Si se cuenta con un sistema de caudal constante, se debe de instalar un variador de frecuencia, el cual es un aparato electrónico que sirve para variar la velocidad de los motores de inducción.

Al contar con un variador de frecuencia mejora el funcionamiento de los equipos, teniendo un arranque suave y controlado, eliminación del golpe de ariete el cual significa un choque violento que se produce sobre las paredes de un conducto, esto se da cuando el líquido que se transporta es modificada su velocidad de desplazamiento.

Otro de los beneficios que se da al contar con un variador de frecuencia, es un ahorro energético, ya que un 60 % de la energía eléctrica demandada es consumida por los equipos eléctricos.

Las aplicaciones en la industria pueden ser:

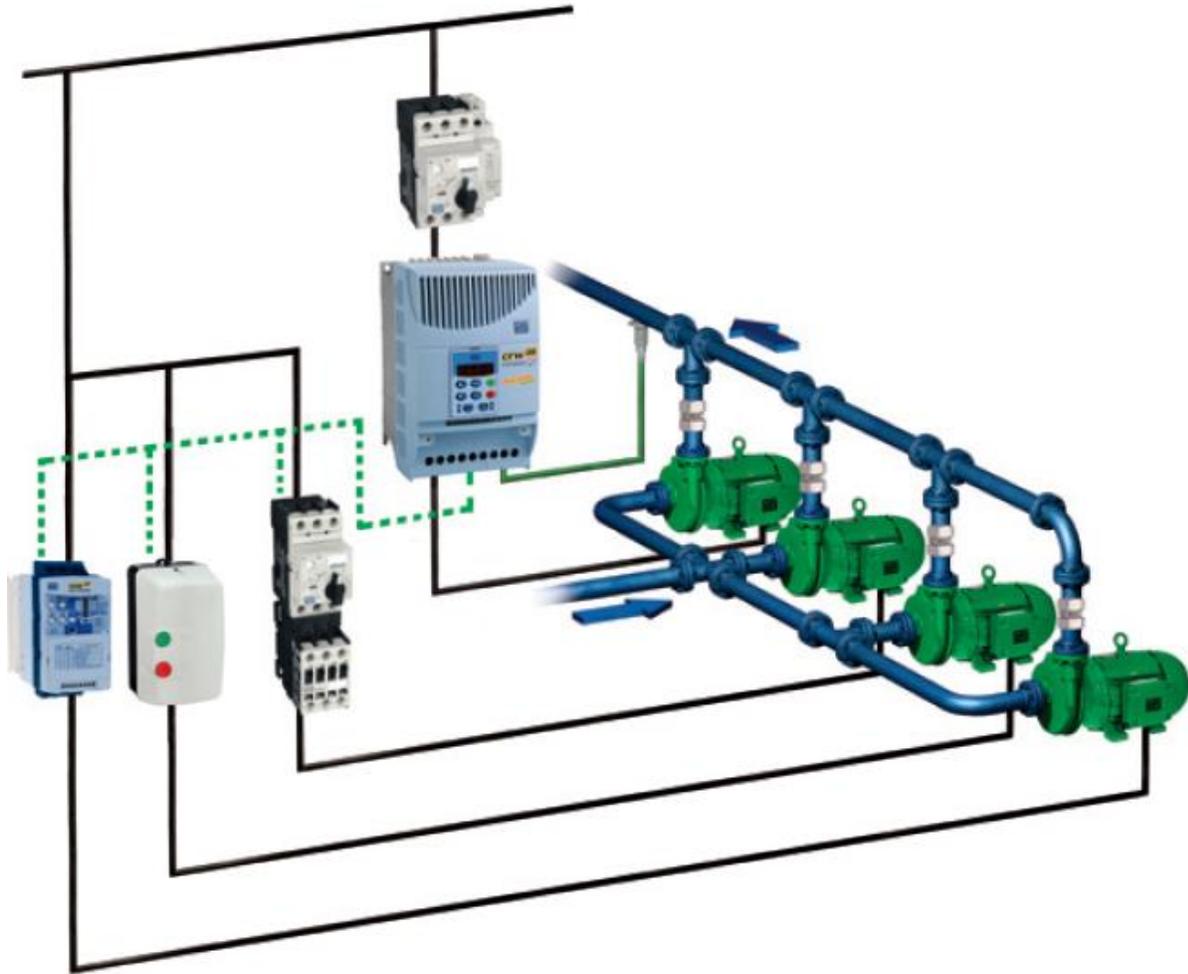
- Química y petroquímica
 - Ventiladores / extractores de aire
 - Bombas centrífugas
 - Bombas dosificadoras / proceso
 - Mezcladoras
 - Compresores
 - Extrusoras

- Azúcar y alcohol
 - Bombas centrífugas de azúcar
 - Bombas de proceso
 - Cintas transportadoras
 - Dosificadoras de bagazo

- Textil
 - Agitadoras / mezcladoras
 - Secadoras / lavadoras
 - Telares
 - Hiladoras
 - Molinos / cardas
 - Urdidoras / husos

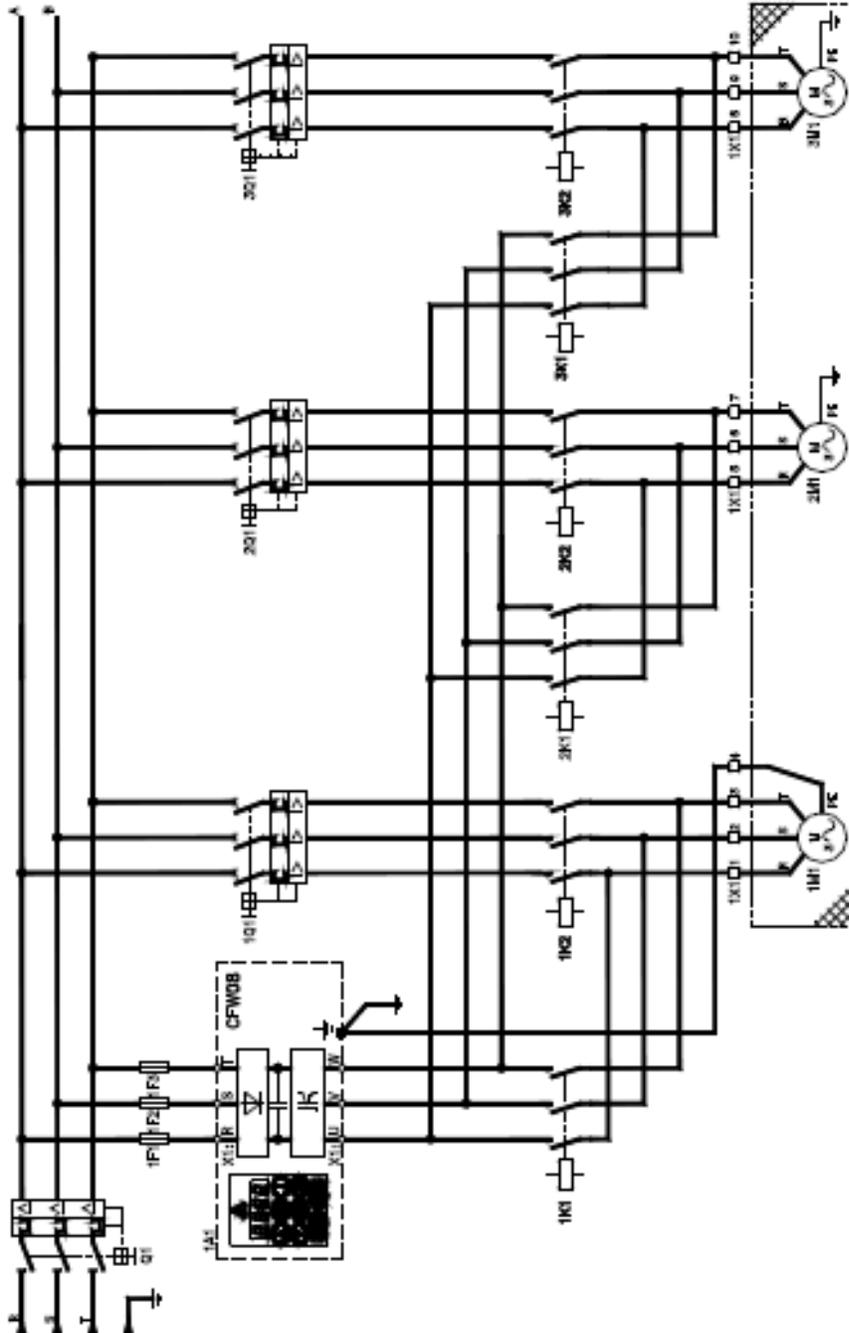
- Zumos y bebidas
 - Bombas dosificadoras / proceso
 - Embotelladoras
 - Mezcladoras
 - Mesas de rodillos
 - Cintas transportadoras

Figura 25. Ejemplo de sistema multibomba



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

Figura 28. **Conexiones eléctricas de potencia para el control multibomba móvil**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Adobe Illustrator.

CONCLUSIONES

1. Es importante conocer los componentes de un sistema de bombeo, para determinar el funcionamiento, identificar y seleccionar los elementos necesarios según el sistema que se desea desarrollar.
2. El uso de protocolos de comunicación permiten a los usuarios comunicación inteligente entre hardware y software.
3. La utilización de variador de frecuencia ayuda a controlar y regular la velocidad de los motores eléctricos de inducción.
4. Con el uso del diseño multibomba permite establecer una diferencia entre el consumo de energía en un arranque directo y un arranque controlado por variador de frecuencia.

RECOMENDACIONES

1. Cuando se realice un diseño de bombeo es necesario analizar si es factible el uso de un regulador de frecuencia
2. Para el sistema de bombeo tomar en cuenta el sistema multibomba ya que este presenta beneficios como asegurar presión constante sin importar la demanda, prolongar la vida útil de la maquinaria, disminuye el consumo eléctrico.
3. Si se utiliza un regulador de frecuencia WEG, se debe tomar en cuenta el uso del regulador CFW11, ya que este presenta muchas innovaciones añadiendo grandes beneficios a los clientes principalmente por su simplicidad de instalación y operación, es tecnología de punta cuyo objetivo es el aumento de productividad para sus clientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. BOYLESTAD, Robert; NASHELSKY, Louis. *Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. 8a ed. México: Pearson Educación de México, S. A., 2003. 1 020 p.
2. BRATU N.; CAMPERO, E. *Instalaciones eléctricas, conceptos básicos y diseño*. 2a ed. México: Alfa Omega, 1995. 167 p.
3. FINK, Donald G.; BEATY, Wayne. *Manual de ingeniería eléctrica*. 13a ed. México: McGRAW-HILL, 2000. 156 p.
4. Grundfos, Catálogo para bombas sumergibles, Bombas Grundfos de México, noviembre 2001. 135 p.
5. MORENO, Ramón Piedrafita. *Ingeniería de la automatización industrial*. 2a ed. México: Alfaomega, 2004. 679 p.
6. ROMERA RAMÍREZ, Juan Pedro. *Automatización problemas resueltos con autómatas programables*. 4a ed. España: Paraninfo, 1994. 283 p.

ANEXOS

Convertidor de Frecuencia CFW-11

Los convertidores de frecuencia CFW-11 hacen que los accionamientos de velocidad variable sean más eficientes, más fiables y más robustos.

Gracias a sus características y funciones especiales pueden utilizarse en una amplia gama de aplicaciones tanto en accionamientos de cargas con régimen de sobrecarga normal (Normal Duty) como en accionamientos de cargas con régimen de sobrecarga pesada (Heavy Duty).

El convertidor CFW-11 de WEG además de proteger el motor también protege el sistema/carga, proporcionando un incremento de productividad, mejora en la calidad de los procesos, aumento de la vida útil del sistema y ahorro de energía.

- Principales características del CFW11 Wmagnet:
 - Tensión de alimentación: 380 Vca a 480Vca.
 - Rango de potencia: 11kW a 160kW (15HP a 220HP).
 - Método de control: vectorial sensorless o vectorial con encoder.
 - Funciones SoftPLC ya disponible en el producto estándar y funciones PLC a través de la tarjeta opcional PLC11-01/02.
 - Mismo hardware del CFW11.
 - Redes de comunicación Fieldbus: Modbus RTU, Modbus TCP, Profibus DP-V1, DeviceNet, CANopen y Ethernet / IP.

- Control multibombas: El CFW-11 incorpora como estándar la función multibomba (a través de la función SoftPLC) que permite mantener constante la presión del sistema independiente de la demanda y permite el accionamiento inteligente de las bombas necesarias en cada momento (aumento del rendimiento, ahorro de energía / recursos y aumento de la vida útil de los sistemas).

Además de controlar la presión de salida del sistema también comprueba la presión de aspiración y el nivel del depósito de captación, garantizando la total seguridad de operación del sistema. Además, la función multibomba del CFW-11 alterna automáticamente la bomba que esta accionada en función del número de horas de funcionamiento de cada una, a fin de asegurar una utilización por igual de todas las bombas.

Convertidor de Frecuencia CFW-11



