

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
ELECTRÓNICA**



---

**“Diseño e implementación de un sistema de control automático y supervisión para mejorar el funcionamiento del sistema de bombeo de agua en sala de bombas de la Corte Superior de Justicia Trujillo – Natasha Alta”**

---

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO  
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**AUTORES:**

Br. Miguel Ángel Bejarano Reyes  
Br. Yeybir Alexander Herrera Luna

**ASESOR:**

Ing. Lenin Humberto Llanos León

**TRUJILLO - PERÚ**

**2016**

# ACREDITACIONES

## TÍTULO:

“Diseño e implementación de un sistema de control automático y supervisión para mejorar el funcionamiento del sistema de bombeo de agua en sala de bombas de la Corte Superior de Justicia Trujillo – Natasha Alta”

## DESARROLLADO POR:

---

Br. Miguel Ángel Bejarano Reyes

Tesista

---

Br. Yeybir Alexander Herrera Luna

Tesista

## APROBADO POR:

---

Ing. Saúl Noé Linares Vertiz  
PRESIDENTE  
N° CIP 142213

---

Ing. Eduardo Cerna Sánchez  
SECRETARIO  
N° CIP 80252

---

Ing. Jorge Juan Egusquiza Gorriti  
VOCAL  
N° CIP 145633

---

Ing. Lenin Llanos León  
ASESOR  
N° CIP 139213

# PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

Dando cumplimiento y conforme a las normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos y Reglamento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, para obtener el título profesional de Ingeniero Electrónico, se pone a vuestra consideración el Informe del Trabajo de Investigación Titulado “Diseño e implementación de un sistema de control automático y supervisión para mejorar el funcionamiento del sistema de bombeo de agua en sala de bombas de la Corte Superior de Justicia Trujillo – Natasha Alta”, con la convicción de alcanzar una justa evaluación y dictamen, excusándonos de antemano de los posibles errores involuntarios cometidos en el desarrollo del mismo.

Trujillo, 14 de Julio de 2016.

Br. Miguel Ángel Bejarano Reyes  
Br. Yeybir Alexander Herrera Luna

## **Dedicatorias**

*A mis queridos padres: Hugo y Carmen,  
por todo el amor y el apoyo recibido.*

*A mi Tía abuela, Angelita,  
mis hermanos María y Mauricio,  
abuelita Pilar y tías.*

*Miguel Angel*

*A Dios, por su infinito amor y bendiciones.  
A los autores de mis días Nélide y Teófilo,  
a mis dos princesas Saraí y Luz,  
familiares que han sido muy importantes en  
mi proceso de formación profesional  
y a mis queridos amigos los cuales también  
forman parte de este logro.*

*Yeybir*

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación consta de 8 capítulos, los cuales son descritos a continuación:

En el primer capítulo, se hace una introducción a la problemática encontrada en el sistema de bombeo de agua de la Corte Superior de Justicia Trujillo – Natasha Alta, exponiendo además el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto.

En el segundo capítulo, se realiza una descripción de los aportes encontrados en las pesquisas a razón de antecedentes y una definición de conceptos relacionados con el proyecto.

En el tercer capítulo, se hace un resumen de los materiales y métodos utilizados en el desarrollo del presente trabajo, así como los procedimientos para el diseño e implementación del sistema de control automático y supervisión para la Corte Superior de Justicia Trujillo – Natasha Alta, esto mediante un proceso, análisis de las características, selección de equipo, diseño e implementación del sistema.

En el cuarto y quinto capítulo, se presenta respectivamente los resultados obtenidos del desarrollo del proyecto y la discusión de los mismos.

Finalmente, en el sexto, séptimo y octavo, se expone las conclusiones del trabajo de investigación, recomendaciones a trabajos futuros y las referencias bibliográficas relacionadas con el proyecto.

# **ABSTRACT**

This research consists of 8 chapters, which are described below:

In the first chapter, an introduction to the problems found in the water pumping system of the Superior Court of Justice Trujillo Natasha Alta, besides exposing the general objective and specific objectives of the project is done.

In the second chapter, a description of the contributions found in the investigation at the rate of history and a definition of concepts related to the project is done.

In the third chapter, a summary of the materials and methods used in the development of this work, as well as the procedures for the design and implementation of automatic control system and supervision for the Superior Court of Justice Trujillo ago - Natasha Alta, this through a process, analysis of the characteristics, equipment selection, design and implementation of the system.

In the fourth and fifth chapter, the results of project development and discussion of them is presented respectively.

Finally, in the sixth, seventh and eighth, the findings of the research, recommendations for future work and references related to the project exposed.

# ÍNDICE

I.	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	15
1.1.	El Problema .....	15
1.2.	Delimitación del problema .....	16
1.3.	Características y análisis del problema .....	16
1.4.	Formulación del Problema .....	17
1.5.	Formulación de la Hipótesis.....	17
1.6.	Objetivos del estudio.....	18
1.6.1.	Objetivo general .....	18
1.6.2.	Objetivos específicos .....	18
1.7.	Justificación del Estudio .....	18
1.7.1.	Importancia de la investigación.....	18
1.7.2.	Viabilidad de la investigación .....	18
1.8.	Limitaciones del estudio .....	19
II.	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	21
2.1.	Antecedentes.....	21
2.2.	Bases teóricas .....	22
	Sistemas de Bombeo .....	22
	Tipos de sistemas de bombeo .....	23
	Bombas .....	26
	Bombas en serie y en paralelo .....	27
	Variador de Frecuencia.....	28
	Sensores .....	34
	Sistemas de Control Remoto y Supervisión. ....	36
	Sistemas SCADA.....	38
	Elementos del Sistema.....	40
	Controlador Lógico Programable (PLC). ....	41
	Análisis y Comparación de Sistemas de Presión Constante .....	42
	Análisis y comparación de sistemas de arranque aplicado en sistemas de bombeo	55
	Arranque estrella – triángulo .....	59
	Arranque con autotransformador .....	63
	Arranque estático (suave) .....	63
	Arranque con variador de frecuencia (VFD: Variable Frequency Drive) .....	66

Comportamiento de la bomba trabajando con variador .....	67
Control del variador con varias bombas en paralelo .....	69
Par constante y par variable .....	70
Consideraciones en la selección de un variador .....	71
2.3. Definición de términos .....	75
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>77</b>
3.1. Material .....	77
3.1.1. Población.....	77
3.1.2. Muestra.....	77
3.1.3. Unidad de Análisis.....	77
3.2. Método .....	77
3.2.1. Nivel de Investigación .....	77
3.2.2. Diseño de la Investigación .....	78
3.2.3. Variables de estudio y Operacionalización .....	78
3.2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	81
3.2.5. Técnicas de Procesamiento de datos.....	84
3.2.6. Técnicas de análisis de datos.....	86
<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>103</b>
<b>V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>109</b>
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>111</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>113</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXOS: .....</b>	<b>118</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Ventajas y desventajas de presostatos mecánicos.....	41
Tabla 2.2. Ventajas y desventajas de medidor diferencial de presión.....	42
Tabla 2.3. Ventajas y desventajas de medidores de caudal hidrodinámicos.....	43
Tabla 2.4. Ventajas y desventajas de medidores de caudal electromagnéticos.....	44
Tabla 2.5. Ventajas y desventajas de variadores de velocidad por medio de motores de inducción.....	45
Tabla 2.6. Ventajas y desventajas de variadores de velocidad por medio de rectificador de silicon.....	46
Tabla 2.7. Ventajas y desventajas de variadores de velocidad por medio de moto-variadores mecánicos.....	47
Tabla 2.8. Ventajas y desventajas de variadores de velocidad por medio de moto-variadores eléctricos.....	48
Tabla 2.9. Ventajas y desventajas de variadores de velocidad por medio de moto-variadores hidráulicos.....	49
Tabla 2.10. Ventajas y desventajas de los tipos de arranque para motores aplicados en sistemas de bombeo.....	69
Tabla 3.1. Operacionalización de la variable dependiente.....	74
Tabla 3.2. Operacionalización de la variable independiente.....	75
Tabla 3.3. Modelo de Encuesta 1.....	76
Tabla 3.4. Modelo de encuesta 2.....	77
Tabla 3.5. Horario de encendido del sistema de bombeo.....	78
Tabla 3.6. Análisis de encuesta 1 utilizada.....	79
Tabla 3.7. Análisis de encuesta 2 utilizada.....	80
Tabla 3.8. Análisis de encendido del sistema.....	81
Tabla 3.9. Síntesis de la encuesta 1.....	81
Tabla 3.10. Datos de la encuesta 2.....	82
Tabla 3.11. Se presenta los componentes con el que contara el sistema de bombeo.....	84
Tabla 3.12. Se presenta los componentes que debería mostrar el Scada.....	85
Tabla 3.13. Elementos del sistema – Llave general Termo-magnética.....	86
Tabla 3.14. Elementos del sistema – Guardamotor.....	87
Tabla 3.15. Elementos del sistema – Variador de velocidad.....	87

Tabla 3.16. Elementos del sistema – PLC.....	88
Tabla 3.17. Elementos del sistema – Sensor de presión.....	88
Tabla 3.18. Elementos del sistema – Selector (biestado).....	89
Tabla 3.19. Elementos del sistema – Selector (triestado).....	89
Tabla 3.20. Elementos del sistema – focos señalizadores.....	90
Tabla 3.21. Señales digitales.....	92
Tabla 3.22: Señales Digitales.....	92
Tabla 3.23: Intercalado de bombas de agua, secuencia 1.....	94
Tabla 3.24: Intercalado de bombas de agua, secuencia 2.....	94
Tabla 3.25: Intercalado de bombas de agua, secuencia 2.....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Sistema de bombeo tanque a tanque.....	23
Figura 2.2. Sistema de bombeo Hidroneumático.....	24
Figura 2.3. Clasificación de Bombas.....	26
Figura 2.4. Bombas en Serie.....	27
Figura 2.5. Bombas en Paralelo.....	27
Figura 2.6. Componentes de un variador de frecuencia.....	28
Figura 2.7. Rectificador e inversor de seis pasos.....	29
Figura 2.8. Inversor de seis pasos PWM.....	30
Figura 2.9. Relación tensión eléctrica/frecuencia.....	31
Figura 2.10. Comportamiento de las cargas de par variable.....	32
Figura 2.11. Relación de flujo-velocidad angula.....	32
Figura 2.12. Relación presión-velocidad angular.....	33
Figura 2.13. Relación de potencia-velocidad angular.....	33
Figura 2.14. Manómetro en U.....	35
Figura 2.15. Algunas alternativas para la medida de presiones en el margen habitual...35	
Figura 2.16. Diagrama de un control de lazo abierto.....	37
Figura 2.17. Diagrama de un control de lazo cerrado.....	38
Figura 2.18. Topología de un sistema SCADA.....	40
Figura 2.19. Diagrama del comportamiento de un PLC.....	42
Figura 2.20. Circuito de Fuerza.....	55
Figura 2.21. Curvas motor en función de la variación de la tensión.....	57
Figura 2.22. El par resistente es proporcional al cubo de la velocidad.....	58
Figura 2.23. Situación óptima de conexión a la tensión de línea, en un caso hipotético del 65% de tapping.....	58
Figura 2.24. Ejemplo de tiempo de conexión a la tensión de línea demasiado corto.....	59
Figura 2.25. Circuito de Fuerza.....	60
Figura 2.26. Configuración de arranque en estrella.....	60
Figura 2.27. Configuración de arranque en triangulo.....	60
Figura 2.28. Flujo de corriente mediante arranque estrella/triangulo.....	61
Figura 2.29. Esquema de un arrancador suave.....	64
Figura 2.30. Ejemplo de modificación de la onda por un arrancador suave.....	65

Figura 2.31. Curva par-velocidad en función de la tensión aplicada.....	66
Figura 2.32. Rendimientos hidráulicos a diferentes velocidades.....	68
En la figura 2.33. De la izquierda se aprecia la variación del punto de servicio sobre la curva de sistema (verde) y curva isorendimiento (amarillo).A la derecha la variación de las curvas de potencia y rendimiento con la velocidad.....	68
Figura 2.34. Control Separado.....	69
Figura 2.35. Control Común.....	69
Figura 2.36. Esquema de funcionamiento de un sistema regulador por control separado.....	70
Figura 2.37: Comparación de curva de par constante y variable.....	71
Figura 2.38: Onda de salida de un variador de frecuencia.....	72
Figura 3.1. Diagrama representativo - Sistema de control.....	95
Figura 3.2. Esquema eléctrico de control.....	96
Figura 3.3. Esquema de fuerza.....	98
Figura 3.4. Diagrama de flujo de programación 1.....	100
Figura 3.5. Diagrama de flujo de programación 2 – continuación.....	101
Figura 3.6. Scada del sistema de supervisión.....	101
Figura 4.1. Sensor y sistema de bombas.....	103
Figura 4.2. Variador de la bomba 1.....	104
Figura 4.3. PLC del sistema de control.....	104
Figura 4.4. Tablero de Control del sistema de bombas.....	105
Figura 4.5. PC con Scada del sistema de supervisión.....	105
Figura 4.6. Reporte de funcionamiento – Modo 1.....	106
Figura 4.7. Reporte de funcionamiento – Modo 2.....	106
Figura 4.8. Reporte de funcionamiento – Modo 3.....	106
Figura 4.9. Presión del sistema.....	107
Figura 4.10. Frecuencia de funcionamiento del variador.....	107

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 3.1. Comparación turno mañana – semana1 .....	88
Grafico 3.2. Comparación turno tarde – semana1 .....	88
Grafico 3.3. Comparación turno mañana – semana 2.....	88
Grafico 3.4. Comparación turno tarde – semana2.....	89

# **CAPITULO I**

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. El Problema**

El agua es un recurso de suma importancia dado que es indispensable para el desarrollo de las distintas formas de vida, a su vez para uso doméstico, industrial y agrícola, por lo tanto, su ausencia o escasez desencadenaría una serie de problemas tanto para población como para entidades públicas y privadas.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) hace mención en su documento Estadísticas Ambientales Marzo 2015 que la producción nacional de agua potable en el mes de enero del 2015 alcanzó los 104 millones 699 mil metro cúbicos, cifra superior en 0.1% respecto al volumen alcanzado en similar mes de 2014. Dicha producción nacional se destina a dos tipos de usos: consuntivo y no consuntivo. El consuntivo significa que se consume efectivamente durante alguna actividad, como la agrícola, poblacional, industrial, etc.

Según el INEI en su documento Anuario de Estadísticas Ambientales 2015 el consumo poblacional es una de las actividades que exige un considerable uso de agua superficial. En el 2014 se utilizó 1 mil 62 millones de metros cúbicos que representan un incremento de 8.4% respecto al año 2013.

En la Corte Superior de Justicia (Sede Natasha Alta - Trujillo) para abastecer de agua a todos sus niveles (4 niveles), cuentan con un sistema de bombas, ubicados en un área llamada “Sala de bombas”, el cual está constituido de tres bombas de agua de 7.5 HP – 220v, tipo 132S/90, los cuales son accionados por un operador, ya que, el funcionamiento de dicho sistema es de forma manual, en donde el encendido se hace mediante un selector, ubicado en el tablero de control.

La activación de las bombas se hace de acuerdo a un horario establecido por la sub área de mantenimiento de dicha entidad pública, para el turno de la mañana el sistema se enciende a las 7:30 am y para el turno de la tarde el sistema se enciende a las 12:00 pm. Antes de la activación del sistema se debe de seleccionar que bombas deben de encenderse, pues el sistema cuenta con otro selector de tres

estados (V1, V2 y v3), en donde, V1 enciende las bombas 01 y 02, V2 enciende las bombas 02 y 03, V3 enciende las bombas 03 y 01. El sistema de bombeo debe de encenderse en la hora anteriormente mencionada, las bombas estarán funcionando hasta que el manómetro con el que cuenta el sistema llegue a una presión de referencia de 60 psi; hasta que se llegue a la presión de referencia el operador tiene que estar pendiente del manómetro, descuidando así otras labores que debería de estar haciendo; luego el operador apaga el sistema. El mismo procedimiento se sigue para el turno de la tarde.

Según nos comenta el jefe de mantenimiento que anteriormente en la Corte Superior de Justicia sede Natasha Alta solo tenían oficinas funcionando hasta el según nivel, entonces no existían problemas de falta de agua. En ese entonces solo se encendía el sistema a las 7:30 am. Con el transcurso del tiempo en el tercer y cuarto piso se implementaron diversas oficinas, entonces, la demanda de agua se incrementó, en consecuencia, empezaron a existir quejas por parte de los trabajadores de los dos últimos niveles por la falta de agua. Según el jefe de mantenimiento para dar respuesta a las quejas el operador tiene que estar arrancando el sistema de acuerdo a la aparición de quejas.

## **1.2. Delimitación del problema**

El presente trabajo de investigación se delimita a estudiar la problemática que se presenta en el sistema de bombeo de agua de la Corte Superior de Justicia (Sede Natasha Alta - Trujillo).

## **1.3. Características y análisis del problema**

La realidad problemática estudiada presenta las siguientes características:

Según nos comenta el operador de la sala de bombas de la Corte Superior de Justicia (Sede Natasha Alta-Trujillo) el sistema lo enciende a las 7:30 am para el turno de la mañana y a las 12:00 pm para el turno de la tarde, esperando ahí hasta que el manómetro del sistema indique una presión de 60 psi, descuidando así otras labores que debería de estar realizando. En la sala de bombas existe un documento

en donde el operador debe de marcar el arranque del sistema para los dos horarios (Ver anexo 01), en donde se puede observar que la hora de encendido no siempre es la establecida, siempre hay un retraso de 5 o 10 minutos, lo mismo ocurre con el encendido para el turno de la tarde, en donde, no siempre se hace a la hora establecida.

La sub área de mantenimiento no cuenta con un registro de funcionamiento de las tres bombas, como el sistema cuenta con un selector con tres estados V1, V2 y V3; en donde V1 activa las bombas 01 y 02, V2 activa las bombas 02 y 03, V3 activa las bombas 01 y 03; el operador inicia con el estado V1, al siguiente día hace funcionar el sistema con el estado V2 y así consecutivamente, pero al no existir un registro del funcionamiento algunas bombas suelen trabajar más que las otras, es decir, el trabajo realizado por la bombas no es equitativo, en consecuencia, algunas de las tres bombas sufrirá mayor desgaste, reduciendo así su vida útil.

Según lo comentado por el jefe de mantenimiento, existen una serie de reclamos por parte de los trabajadores del cuarto nivel por la falta de agua en ciertas horas del día, específicamente a las 11:00 am. Este problema se debe a que a las nuevas oficinas implementadas en el tercer y cuarto nivel aumentaron la demanda de agua en el edificio. Para dar solución a la serie de reclamos hecha por los trabajadores de las oficinas afectadas, el operador enciende y apaga el sistema de bombeo según la concurrencia de reclamos, esta acción, conlleva al aumento de mantenimiento y desgaste mecánico.

#### **1.4. Formulación del Problema**

¿Cómo mejorar el funcionamiento del sistema de bombeo de agua en la sala de bombas de la Corte Superior de Justicia (Sede Natasha Alta - Trujillo)?

#### **1.5. Formulación de la Hipótesis**

Mediante un sistema de control automático y supervisión se mejora el funcionamiento del sistema de bombeo en la sala de bombas de la Corte Superior de Justicia (Sede Natasha Alta - Trujillo).

## **1.6. Objetivos del estudio**

### **1.6.1. Objetivo general**

Diseñar e implementar un sistema de control automático y supervisión para mejorar el funcionamiento del sistema de bombeo de agua en la sala de bombas de la Corte Superior de Justicia (Sede Natasha Alta - Trujillo).

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- Estudiar el sistema de bombeo de agua de la Corte Superior de Justicia (Sede Natasha Alta - Trujillo).
- Identificar los requerimientos para el sistema de control automático y supervisión del sistema de bombeo a agua.
- Proponer el diseño de un sistema de control y supervisión para el sistema de bombas.
- Implementar el diseño propuesto.

## **1.7. Justificación del Estudio**

### **1.7.1. Importancia de la investigación**

El presente trabajo de investigación se justifica en que se obtendrá un procedimiento para mejorar el funcionamiento del sistema de bombeo, el cual será el resultado de una comparación entre los diferentes métodos de funcionamiento para sistemas de presión, el cual beneficiara de manera directa a la Corte Superior de Justicia (Sede Natasha Alta - Trujillo), solucionando así, los problemas presentados en el sistema de bombeo.

### **1.7.2. Viabilidad de la investigación**

Para desarrollar la presente investigación se cuenta con los recursos humanos, recursos financieros, materiales, y de tiempo, acceso a la información y conocimientos.

## **1.8. Limitaciones del estudio**

Las dificultades que pueden limitar nuestra investigación son las siguientes:

- Las complicaciones que pueda tener la petición de los equipos, destinados a la implementación del proyecto de investigación, en el área de logística de la Corte Superior de Justicia (Sede Natasha Alta - Trujillo).
- La falta de coordinación con las autoridades de la entidad pública, para realizar la implementación del proyecto.

# **CAPITULO II**

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Haciendo una pesquisa bibliográfica se han encontrado como antecedentes los siguientes trabajos de investigación relacionados con la temática, por lo tanto nos permite tener una idea de la situación actual:

Título: “Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos para el Ahorro de Energía Eléctrica”

Autor: Ing. Javier Abonza Covarrubias

Institución: Instituto Politécnico Nacional

Año de publicación: 2007

Este trabajo permite comprender, un método de automatización, para obtener un menor consumo de energía, usando un controlador lógico programable y un sistema Scada.

Título: “Diseño y Construcción de un Módulo de Laboratorio con variador de frecuencia para el Control de un Sistema de Bombeo y Determinación del Ahorro Energético”

Autor: Adriana Alexandra Pesantez Erazo

Institución: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Año de publicación: 2012

Este trabajo permite comprender el uso de variadores de frecuencias, mediante la programación del Relé Inteligente LOGO, nos permite entender el ahorro energético, usando la variación de frecuencia del motor de la bomba.

Título: “Monitoreo y control de demanda máxima de energía eléctrica en tiempo real para edificios inteligentes”

Autor: Daniel Pineda Correa

Institución: Universidad Autónoma de Queretano

Año de publicación: 2013

Este trabajo permite comprender, como el aumento de energía eléctrica, se incrementó, en los últimos años, como efecto, se dieron sistema de monitorización, la cual, nos dio una mejor perspectiva, para nuestro proyecto.

Título: “Diseño e Implementación de un Módulo demostrativo de Control por Variadores de Velocidad para Sistemas de presión constante motobombas”

Autor: Yoshi Augusto Paredes Arévalo

Institución: Pontificia Universidad Católica del Perú

Año de publicación: 2014

Este trabajo permite comprender, los tipos de algoritmos y técnicas de control, que deberán usar para el control de varias bombas de agua de presión, dependiendo del consumo de la entidad.

Título: “Control de Presión de Agua mediante variadores de frecuencia y motobombas”

Autor: Jorge Andrés Saavedra Vidal

Institución: Universidad de Magallanes

Año de publicación: 2007

Este trabajo permite comprender, se tuvo como referencia, para su posible uso de un controlador PI, que genera la referencia de velocidad para el variador de frecuencia.

## **2.2. Bases teóricas**

### **Sistemas de Bombeo**

Según Blanco, Velarde & Fernández (1994) “Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos”.

## Elementos típicos

Según Blanco et al. (1994) “En un sistema típico, además de las tuberías que enlazan los puntos de origen y destino, son necesarios otros elementos. Algunos de ellos proporcionan la energía necesaria para el transporte: bombas, lugares de almacenamiento y depósitos. Otros son elementos de regulación y control: válvulas y equipos de medida”.

## Tipos de sistemas de bombeo

### a) Sistemas de bombeo tanque a tanque

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

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

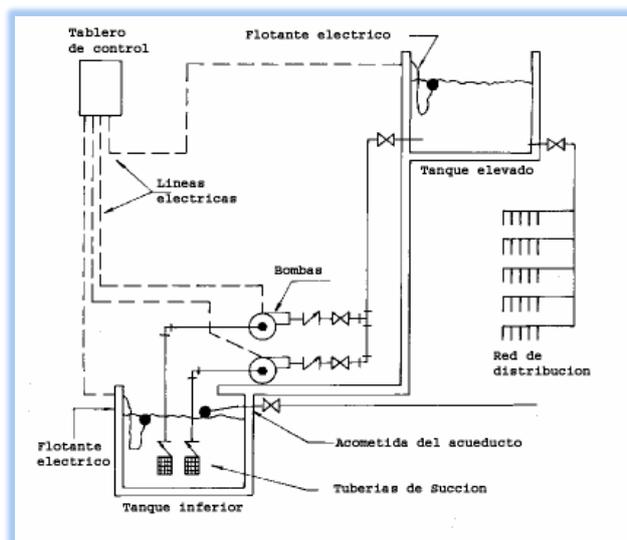


Figura 2.1. Sistema de bombeo tanque a tanque

Fuente: Sistemas de Bombeo, Wekker

En la parte inferior de la edificación existe un tanque, el cual puede ser superficial, semi subterráneo o subterráneo y en el que se almacenará el agua que llega del abastecimiento público. Desde este tanque un número de bombas establecido (casi siempre una o dos), conectadas en paralelo impulsarán el agua al tanque elevado.

## b) Sistemas Hidroneumáticos

Para Wekker (2004) “Los sistemas hidroneumáticos se basan en el principio de compresibilidad o elasticidad del aire cuando es sometido a presión”.

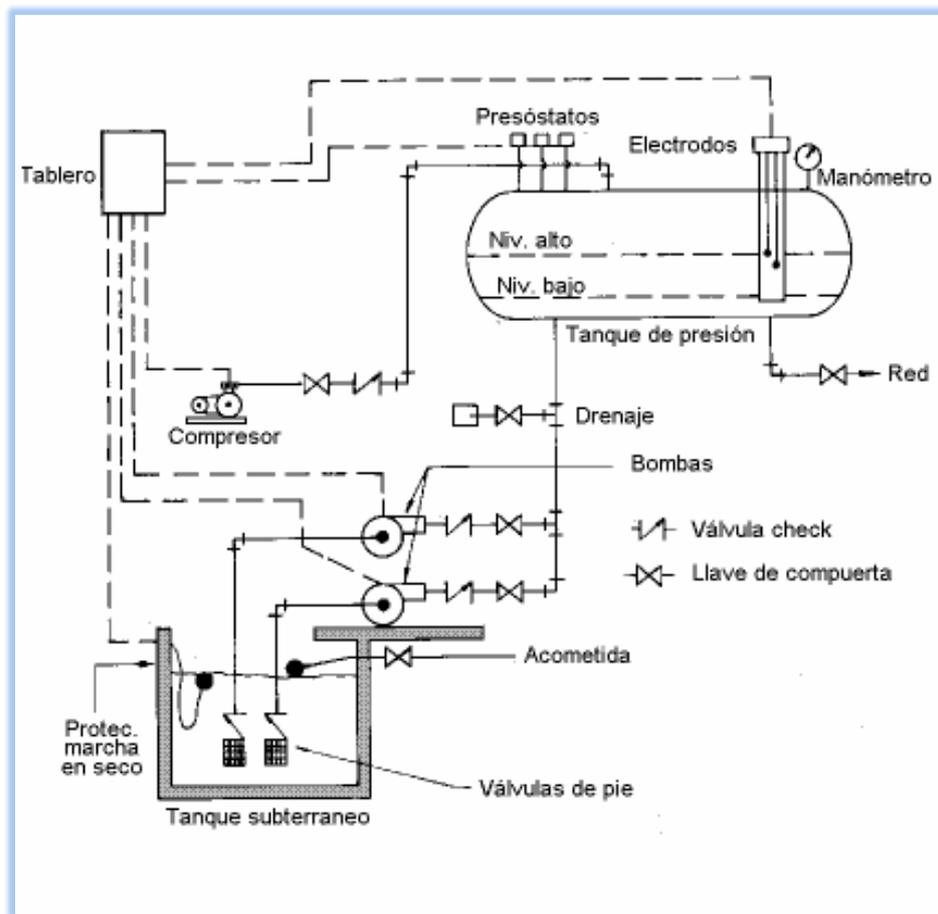


Figura 2.2. Sistema de bombeo Hidroneumático

Fuente: Sistemas de Bombeo, Wekker

Según Wekker (2004) El agua que es suministrada desde el acueducto público u otra fuente (acometida), es retenida en un tanque de almacenamiento; de donde, a través de un sistema de bombas, será

impulsada a un recipiente a presión (de dimensiones y características calculadas en función de la red), y que contiene volúmenes variables de agua y aire. Cuando el agua entra al recipiente aumenta el nivel de agua, al comprimirse el aire aumenta la presión, cuando se llega a un nivel de agua y presión determinados, se produce la señal de parada de la bomba y el tanque queda en la capacidad de abastecer la red, cuando los niveles de presión bajan, a los mínimos preestablecidos, se acciona el mando de encendido de la bomba nuevamente.

### c) Sistemas de Presión Constante

Según Wekker (2004) “Son aquellos sistemas de bombeo en donde se suministra agua a una red de consumo, mediante unidades de bombeo que trabajan directamente contra una red cerrada”.

Los sistemas de bombeo se pueden clasificar en dos grupos principales:

- Sistemas de bombeo contra red cerrada a velocidad fija.

Para Wekker (2004) “Son aquellos sistemas en donde dos o más bombas trabajan en paralelo a una velocidad invariable para cubrir demandas de consumo instantáneo en la red”.

- Sistemas de bombeo contra red cerrada a velocidad variable.

Para Wekker (2004) “Son aquellos sistemas en los cuales la unidad de bombeo varia su velocidad de funcionamiento en razón al caudal de demanda de la red, mediante el cambio en el impulsor de la bomba que se logra de diferentes formas”.

## Bombas

Como lo menciona Viejo (2000) es “Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc., y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad.”

Siendo tan variados los tipos de bombas que existen, es muy conveniente hacer una adecuada clasificación. A continuación se muestra esa clasificación.

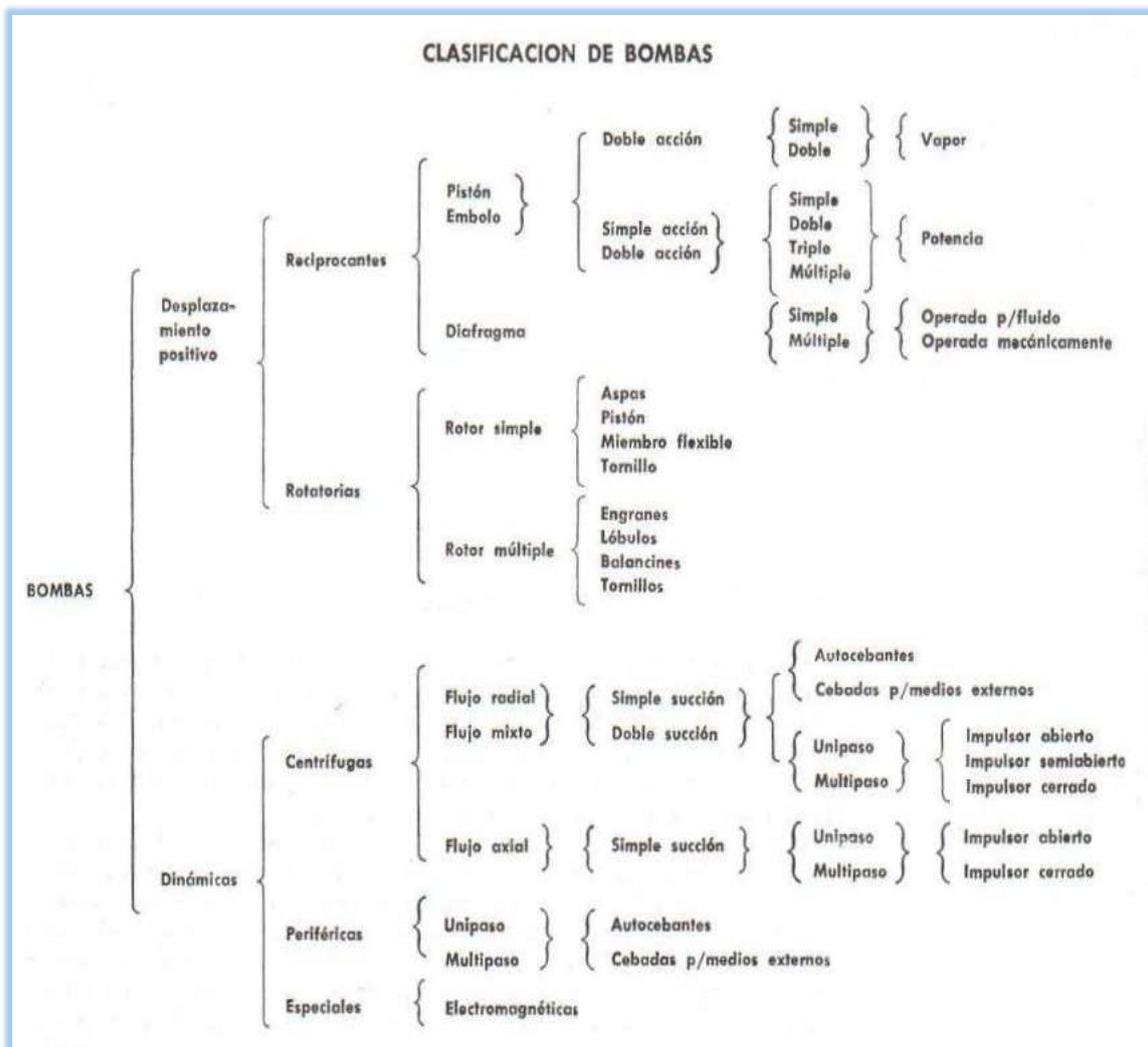


Figura 2.3. Clasificación de Bombas

Fuente: Bombas – Teoría y Diseño y aplicaciones, M. Viejo

## Bombas en serie y en paralelo

Según menciona Blanco et al. (1994) En ocasiones se utilizan varias bombas trabajando en serie o en paralelo sobre el mismo circuito. Esto puede resultar útil como sistema de regulación, o cuando se requieren características muy variables.

Cuando varias bombas se colocan en serie, se puede sustituir, para el cálculo, por otra bomba hipotética que genere una altura suma de las individuales para cada caudal.

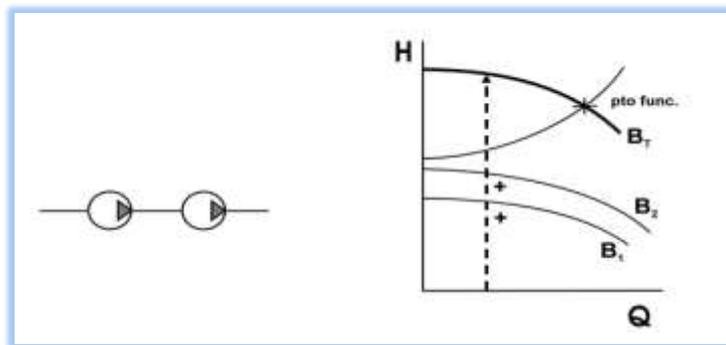


Figura 2.4 Bombas en Serie  
Fuente: Sistemas de Bombeo, Blanco et al.

De la misma forma, varias bombas en paralelo darán una curva característica conjunta en la que se suma caudales de altura.

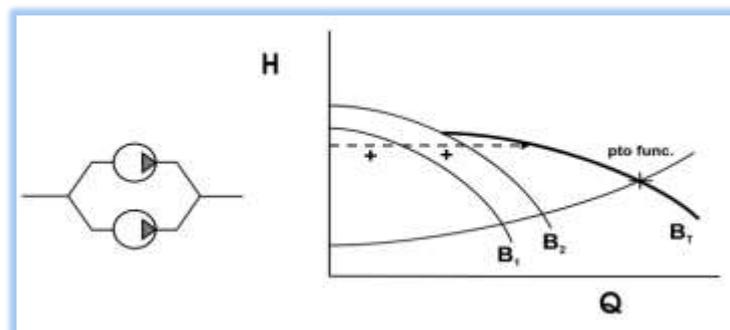


Figura 2.5. Bombas en Paralelo  
Fuente: Sistemas de Bombeo, Blanco et al.

Para colocar bombas en serie, y sobre todo en paralelo, es conveniente que sean similares, mejor aún si son idénticas, para evitar que alguna de ellas trabaje en una zona poco adecuada. En el caso de bombas con curva característica inestable (pendiente positiva en alguna zona) conviene prestar especial cuidado, como se verá más adelante.

Una advertencia importante: cuando en un sistema dado se colocan varias bombas en serie, el punto de funcionamiento no es la suma de las alturas que cada bomba daría si estuviese conectada al circuito ella sola. En el ejemplo de la figura 2.4 se puede ver que ninguna de las bombas sería capaz por sí misma de vencer la diferencia de altura inicial. El conjunto de las bombas se representa por la curva característica conjunta, y ésta tendrá su punto de corte con la curva resistente, que no tiene nada que ver con el funcionamiento de cada bomba en solitario con el circuito. En el caso de bombas en paralelo sucede algo similar.

### Variador de Frecuencia

Como menciona Álvarez (2000), El variador de velocidad VSD (variable Speed Drive, por sus siglas en inglés), es un dispositivo que emplea un diseño de estado sólido para variar la velocidad de un motor eléctrico. La estructura de estos controladores no poseen partes móviles por tanto requieren mínimo mantenimiento en comparación con otras alternativas de elementos finales de control.

Según Álvarez (2000), Un variador de frecuencia genera una onda aproximada a una onda senoidal con cierta frecuencia para obtener la velocidad deseada. La naturaleza de una aproximación depende básicamente de la tecnología de los semiconductores y de la estrategia de control implementada para generar la energía en la salida. Los variadores de frecuencia tienen como componentes básicos un rectificador y un inversor como se muestra en la figura 2.6.

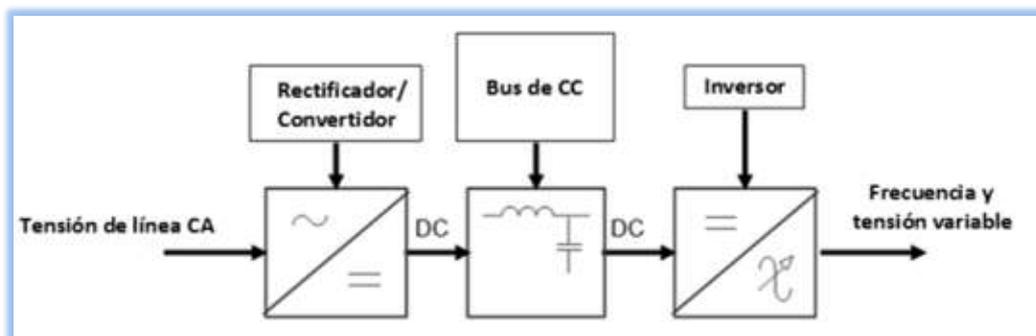


Figura 2.6. Componentes de un variador de frecuencia  
Fuente: Convertidores de Frecuencia, Controladores de Motores y SSR, M. Álvarez (2000).

Como menciona Álvarez (2000), La función del rectificador es convertir la tensión de alimentación de corriente alterna a corriente directa y controlar la tensión eléctrica que se le suministra al inversor, para mantener constante la relación tensión eléctrica/frecuencia. El inversor transforma la tensión de corriente directa en corriente alterna con una frecuencia y tensión regulables, que dependerán de los puntos de consigna que sean determinados.

Como menciona Álvarez (2000), El inversor utiliza dispositivos electrónicos de potencia (figura 2.7) que son controlados por un microprocesador para conmutar la tensión del bus de CC y producir una señal de CA de frecuencia ajustable que alimenta al motor. El número de dispositivos electrónicos de potencia, indica el número de pulsos que se generan para aproximar la onda, entre mayor sea el número de dispositivos mejor será la aproximación de la onda.

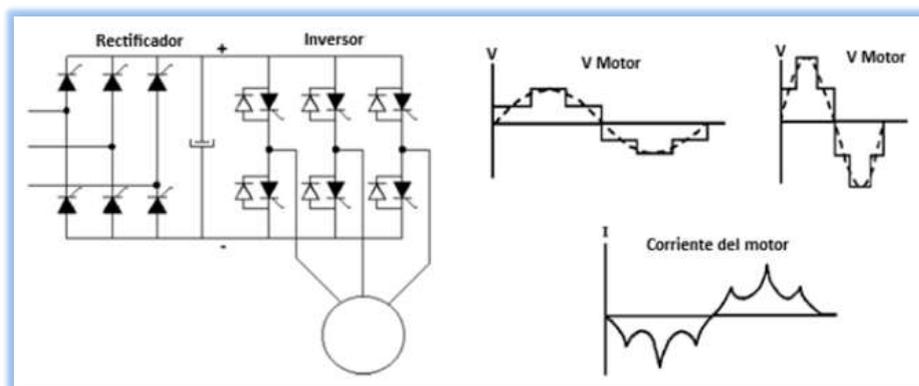


Figura 2.7. Rectificador e inversor de seis pasos

Fuente: Convertidores de Frecuencia, Controladores de Motores y SSR, M. Álvarez (2000).

Como menciona Álvarez (2000), Para variar la frecuencia del motor, se ajusta el tiempo de conducción de los SCR's (Rectificadores Controlados de Silicio), para cada uno de los seis SCR's se va modificando el tiempo del ciclo. La tensión de CC se ajusta para mantener la relación tensión eléctrica/frecuencia constante.

Como menciona Álvarez (2000), El inversor de modulación de ancho de pulso PWM (Pulse Width Modulation, por sus siglas en inglés), consta de seis dispositivos electrónicos que se energizan y desenergizan en una secuencia la cual produce una tensión en forma de pulsos cuadrados que alimentan al motor. Para variar la frecuencia del motor, el número de pulsos y su ancho se ajustan de tal forma

que si el tiempo del ciclo es mayor, la frecuencia es baja, por lo tanto se reduce la velocidad del motor, si el tiempo del ciclo es menor, la frecuencia es mayor y existe un incremento en la velocidad del motor.

Como menciona Álvarez (2000), Para cada frecuencia existe un número específico de pulsos que producen la menor distorsión armónica en la corriente que se aproxime a la señal con onda senoidal. La distorsión armónica afecta a los aislamientos del motor, incrementa el ruido y eleva el calentamiento entre un 5% y un 15% dependiendo del diseño del fabricante. La figura 2.8 muestra como está constituido un inversor PWM.

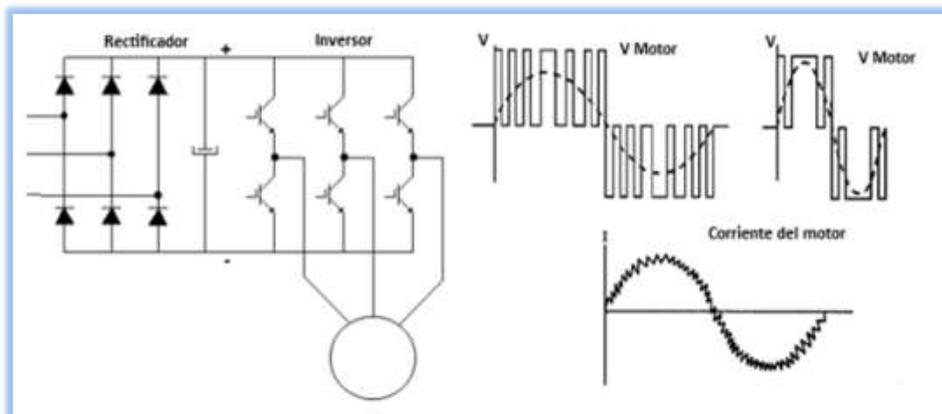


Figura 2.8. Inversor de seis pasos PWM.

Fuente: Convertidores de Frecuencia, Controladores de Motores y SSR, M. Álvarez (2000).

Como menciona Álvarez (2000), Los motores de inducción producen un par debido al flujo magnético en su campo rotatorio, la velocidad de la flecha del motor a tensión, frecuencia y carga nominal se conoce como velocidad base, cuando se opera por debajo de su velocidad base el par se lleva a cabo manteniendo constante la relación tensión eléctrica/frecuencia que se aplica al motor. Si la relación tensión eléctrica/frecuencia se incrementa al bajar la frecuencia para reducir la velocidad del motor, la corriente se incrementará llegando a ser excesiva. Por el contrario la relación tensión eléctrica/frecuencia se reduce al subir la frecuencia para elevar la velocidad del motor, la capacidad de par se verá reducida.

Como menciona Álvarez (2000), Cuando se opera por arriba de la velocidad base, la relación tensión eléctrica/frecuencia se reduce ya que se aplica una tensión constante al motor que generalmente es la tensión nominal, por lo que las capacidades

de torque se reducen. A frecuencias de alimentación del motor de 30 Hz y menores, la relación tensión eléctrica/frecuencia no siempre se mantiene constante ya que dependiendo del tipo de carga la tensión puede incrementarse para elevar la relación tensión eléctrica/frecuencia para que el motor produzca un par mayor, especialmente a velocidad cero.

Cuando el motor opera con cargas ligeras se puede reducir la relación tensión eléctrica/frecuencia para minimizar la corriente del motor, y debido a que se aplica una tensión menor, se consigue reducir la corriente de magnetización y consecuentemente producir un par menor que aún sea tolerable.

Como menciona Álvarez (2000), La velocidad síncrona del motor (ecuación 1) depende del número de polos del estator y la frecuencia de alimentación.

$$n = \frac{120 \cdot f}{(\# \text{ de polos})} \quad (1)$$

Donde:

$f$  : Frecuencia, Hz

Como menciona Álvarez (2000), El suministro de tensión eléctrica desde un variador de velocidad puede realizarse desde frecuencias de 0 Hz hasta 120 Hz o más, por lo que en base a la frecuencia de alimentación la velocidad de giro del eje del motor puede ser variada al mismo tiempo que se debe mantener la relación tensión eléctrica/frecuencia, mientras no se excedan los 60 Hz, debido a que el par que proporciona el motor por diseño está determinado por esta relación (figura 2.9). Los cambios en esta relación pueden afectar el par, la temperatura y velocidad del motor.

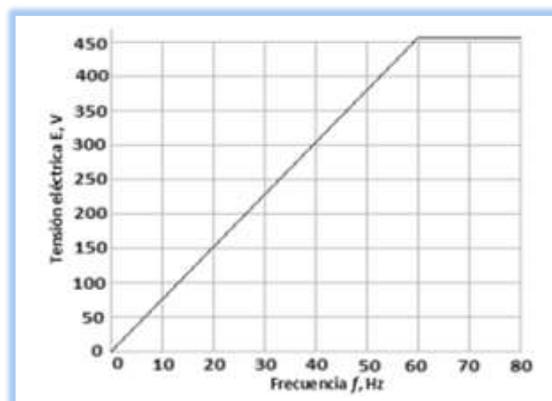


Figura 2.9. Relación tensión eléctrica/fr.ecuencia.

Fuente: Convertidores de Frecuencia, Controladores de Motores y SSR, M. Álvarez (2000).

Como menciona Álvarez (2000), La primera consideración que se debe de hacer al aplicar un VSD es determinar el tipo de carga y sus características, requerimientos de par y velocidad. Las cargas en las que el par se reduce cuando operan por debajo de la velocidad base y se incrementa al operar por encima de dicha velocidad base se clasifican como cargas de par variable. En muchas de estas cargas el par se reduce con el cuadrado de la velocidad, siendo las bombas centrífugas y cierto tipo de ventiladores y sopladores las cargas más representativas. En la figura 2.10 se muestra la relación del par respecto a la velocidad.

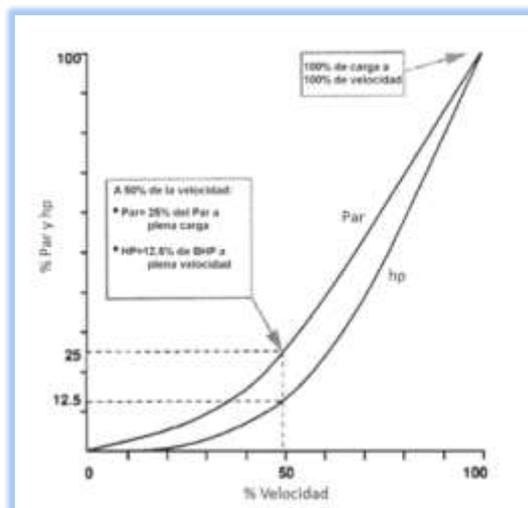


Figura 2.10. Comportamiento de las cargas de par variable  
Fuente: Convertidores de Frecuencia, Controladores de Motores y SSR, M. Álvarez (2000).

Como menciona Álvarez (2000), Para realizar el control de carga con par variable como es el caso de las bombas centrífugas, es conveniente el control de flujo a través de variadores de velocidad, ya que en una bomba centrífuga la velocidad del impulsor siempre está relacionada con el flujo. La figura 2.11 indica la relación existente entre el flujo y la velocidad del motor.

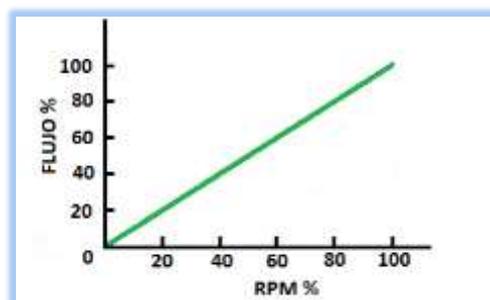


Figura 2.11. Relación de flujo-velocidad angular  
Fuente: Convertidores de Frecuencia, Controladores de Motores y SSR, M. Álvarez (2000).

Como menciona Álvarez (2000), La relación entre el flujo y la velocidad del motor es lineal, cuando se necesita un flujo mayor, se logra con un aumento proporcional en la velocidad del motor. En la figura 2.12 se muestra como la presión en la descarga de la bomba aumenta en relación con el cuadrado de la velocidad del motor.

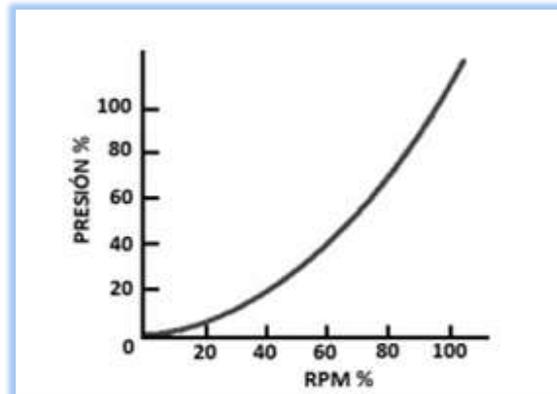


Figura 2.12. Relación presión-velocidad angular  
Fuente: Convertidores de Frecuencia, Controladores de Motores y SSR, M. Álvarez (2000).

Como menciona Álvarez (2000), La figura 2.13 muestra la relación de la potencia requerida con respecto a la velocidad del motor. La potencia requerida por el motor aumenta en relación con el cubo de la velocidad del motor. Al reducir la velocidad del motor durante los periodos de baja demanda, se pueden ahorrar cantidades considerables de energía.

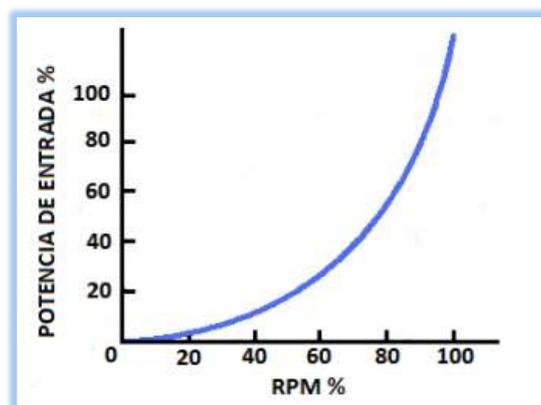


Figura 2.13. Relación de potencia-velocidad angular  
Fuente: Convertidores de Frecuencia, Controladores de Motores y SSR, M. Álvarez (2000).

Como menciona Álvarez (2000), El uso de variadores de frecuencia en aplicaciones de bombeo, presenta las siguientes ventajas:

- Reducción de costos: Los principales costos (ordenados de mayor a menor) asociados a un sistema de bombeo son la energía consumida, inversión inicial y mantenimiento.
- Permite la aplicación de bombas en paralelo (redundantes), controladas según la demanda de flujo requerido.
- 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 esfuerzo mecánico de la bomba.
  - Reducción de riesgos de cavitación.
  - Reducción de daño en bomba debido a cambios bruscos de flujo.

## Sensores

### Sensor de presión

Como Menciona Pallas (2003), La medida de presiones en líquidos o gases es una de las más frecuentes, particularmente en control de procesos. La presión es fuerza por unidad de superficie, y para su medida se procede bien a su comparación con otra fuerza conocida, bien a la detección de su efecto sobre un elemento elástico (medidas por deflexión). En la figura 2.15 se recogen algunas de las alternativas posibles.

Como Menciona Pallas (2003), En los manómetros de columna de líquido, como el tubo en U de la figura 2.14 , el resultado de la comparación de la presión a medir y una presión de referencia, si se desprecian efectos secundarios, es una diferencia de nivel de líquido h,

$$h = \frac{P - P_{ref}}{\rho g} \quad (2)$$

Donde  $\rho$  es la densidad del líquido y g la aceleración de la gravedad. Un sensor de nivel (fotoeléctrico, flotador, etc.) permite entonces obtener una señal eléctrica.

Al aplicar una presión a un elemento elástico, este se deforma hasta el punto en que las tensiones internas igualan la presión aplicada. Según sean el material y la geometría empleados, el desplazamiento o deformación resultantes son más o menos amplios, pudiéndose aplicar luego unos u otros sensores (figura 2.14). Los dispositivos utilizados derivan bien del tubo Bourdon, bien del diafragma empotrado o sujeto por sus bordes

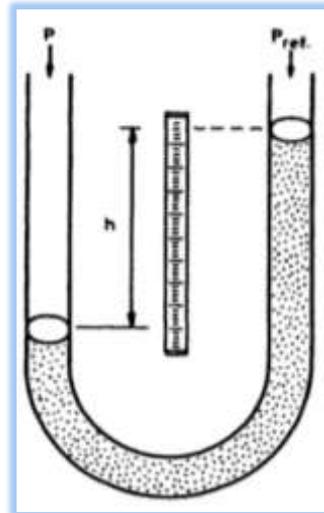


Figura 2.14. Manómetro en U

Fuente: Sensores y Acondicionadores de Señal, R. Pallas (2003)

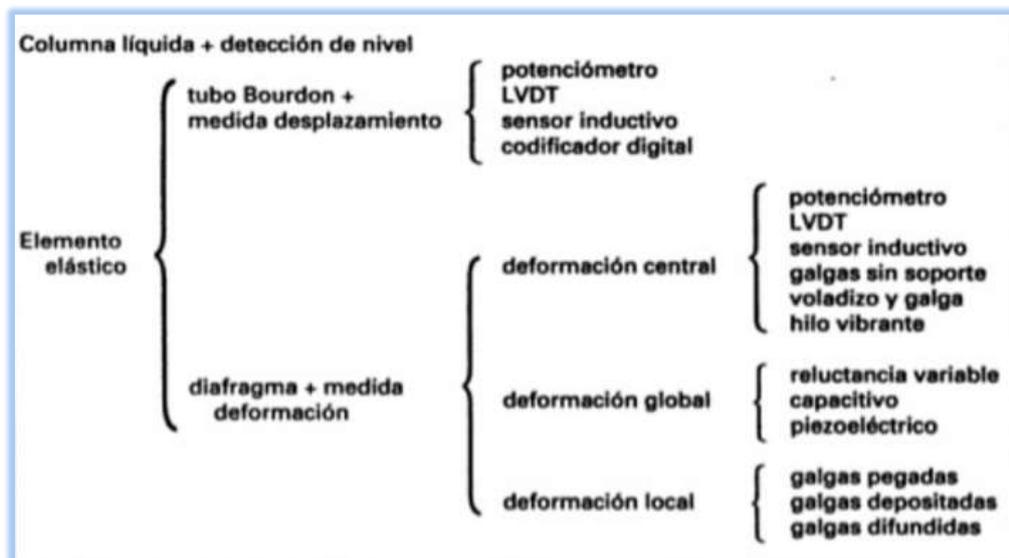


Figura 2.15. Algunas alternativas para la medida de presiones en el margen habitual.

Fuente: Sensores y Acondicionadores de Señal, R. Pallas (2003)

## **Sistemas de Control Remoto y Supervisión.**

### **Sistemas de Control:**

Para dar una descripción teórica de un sistema de control Román (2012) menciona lo siguiente: Está conformado por un conjunto de componentes capaces de regular su propio comportamiento o la de otro sistema, con el fin de lograr un funcionamiento previamente establecido. Basa su funcionamiento de acuerdo a mediciones que realiza en el sistema (utiliza, por ejemplo, sensores como de nivel, flujómetros, manómetros, etc.). De acuerdo a los resultados de esta medición, el sistema de control decide la acción a realizar para obtener el resultado deseado. Los principales elementos de un sistema de control son los siguientes:

- Entrada o estímulo: Es la excitación o el mando aplicado a un sistema de control.
- Salida: Respuesta real que se obtiene del sistema.
- Planta: Es cualquier objeto físico a controlar.
- Proceso: Consiste en la operación o desarrollo natural y continuo marcado por cambios controlados que conducirán al resultado deseado.
- Perturbación: Conocido también como error. Es la señal que generalmente afecta negativamente el valor de salida del sistema. Es la señal que se trata de reducir o controlar.
- Variable Controlada: Es, como su nombre lo indica, la variable que se mide o controla; normalmente es la salida del sistema.
- Variable Manipulada: Es la variable que se modifica para obtener el resultado deseado en la variable controlada.

Así mismo el autor hace referencia que: Existen dos formas generales de emplear un sistema de control en un proceso que se conocen como lazo abierto y lazo cerrado. La principal diferencia entre ambos, consiste en la retroalimentación de la información del proceso (salida) al controlador para iniciar la acción de corrección adecuada.

### **Sistemas de control de lazo abierto:**

Aquellos en los que la variable de salida (variable controlada) no tiene efecto sobre la acción de control (variable de control).

Características:

No se compara la salida del sistema con el valor deseado de la salida del sistema (referencia).

- Para cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fijada.
- La exactitud de la salida del sistema depende de la calibración del controlador.
- En presencia de perturbaciones estos sistemas de control no cumplen su función adecuadamente.

La siguiente figura 2.16, resume el sistema de control de lazo abierto.

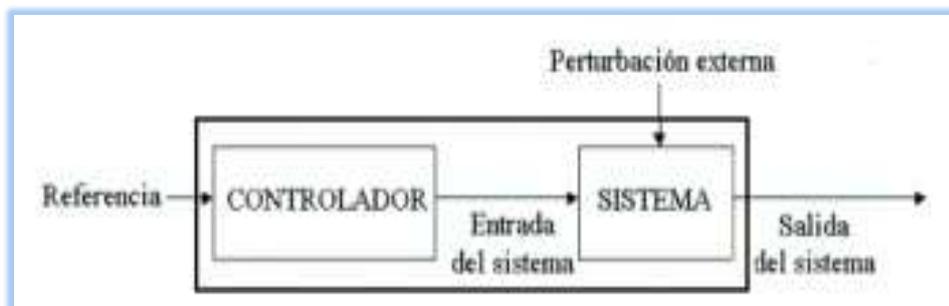


Figura 2.16. Diagrama de un control de lazo abierto.

Fuente: Elaboración propia

### **Sistemas de control en lazo cerrado:**

Aquellos en los que la señal de salida del sistema (variable controlada) tiene efecto directo sobre la acción de control (variable de control). Dicho concepto se refleja en la siguiente figura 2.17:



embargo, esta variedad de tipos de señales eléctricas debe ser procesada para ser entendida por el computador digital para lo cual se utilizan los acondicionadores de señal.

- c) La función de los Acondicionadores de Señal es la de referenciar estos cambios eléctricos a una misma escala de corriente o voltaje. Además, provee aislamiento eléctrico y filtraje de la señal con el objeto de proteger al sistema de ruidos originados en campo.
- d) Una vez acondicionada la señal, la misma se convierte en un valor digital equivalente en el bloque de Conversión de Datos. Generalmente, esta función es llevada a cabo por un circuito de conversión analógica/digital.
- e) El computador almacena esta información, la cual es utilizada para su Análisis y para la toma de decisiones. Simultáneamente, se muestra la información al usuario del sistema en tiempo real. Basado en la información, el operador puede tomar la decisión de realizar una acción de control sobre el proceso.
- f) El operador comanda al computador realizar la acción sobre el proceso y de nuevo debe convertirse la información digital a una señal eléctrica. Esta señal eléctrica es procesada por una salida de control, el cual funciona como un acondicionador de señal, al cual escala para manejar un dispositivo dado: válvulas, bobinas, set point de un controlador, etc.

En la figura 2.18, se muestra la topología de un Sistema SCADA, en la cual se visualizan sus niveles.

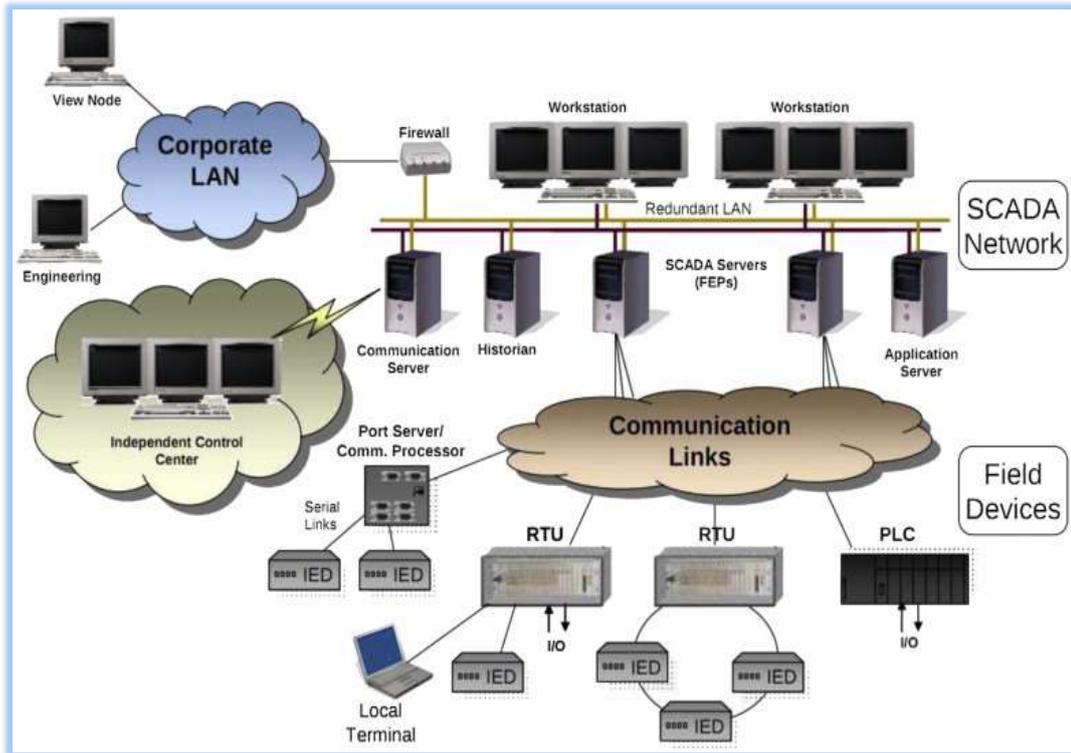


Figura 2.18. Topología de un sistema SCADA

Fuente: [www.moxa.com](http://www.moxa.com)

### Elementos del Sistema.

El autor Chavarría (2007) menciona que un sistema SCADA está conformado por:

- a) Interfaz Operador–Máquinas (HMI): Es el entorno visual que brinda el sistema para que el operador se adapte al proceso desarrollado por la planta. Esta interfaz incluye generalmente los controles donde el operador se puede interconectar con el sistema de SCADA.
- b) HMI es una manera fácil de estandarizar la supervisión de las RTU's múltiples o de los PLC's (Controlador Lógico Programable). La voluntad generalmente de las RTU o de los PLC's funciona un proceso pre programado, pero la supervisión de ellos individualmente puede ser difícil, generalmente porque se separan hacia fuera sobre el sistema.

- c) Sistema de Comunicaciones: Se encarga de la transferencia de información del punto donde se realizan las operaciones, hasta el punto donde se supervisa y controla el proceso. Lo conforman los transmisores, receptores y medios de comunicación.
  
- d) Transductores: Un transductor es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra de diferente de salida. El nombre del transductor ya nos indica cual es la transformación que realiza, aunque no necesariamente la dirección de la misma. Es un dispositivo usado para obtener la información de entornos físicos y conseguir a partir de esta información señales o impulsos eléctricos o viceversa. En este caso permitirá la conversión de una señal física en una señal eléctrica y viceversa.

### **Controlador Lógico Programable (PLC).**

Es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales. Para Martínez (1998) un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación. Posee puertas lógicas, temporizadores, relés ficticios, contadores, unidades de secuencia, etc. Muchas unidades cuentan con entradas analógicas, capacidad de cálculo, reloj de tiempo real y otras funciones que, según la tarea que necesitemos realizar, decidirán el modelo de PLC que debemos utilizar.

Este equipo es utilizado mayormente en todas las industrias a nivel mundial, ya que brinda una ayuda óptima para el control de diversos procesos que se trabajan para elaborar diversos productos, siendo así que la producción de una empresa sea muy elevada y de buena calidad.

Todo esto se explica en el siguiente diagrama de la figura 2.19:

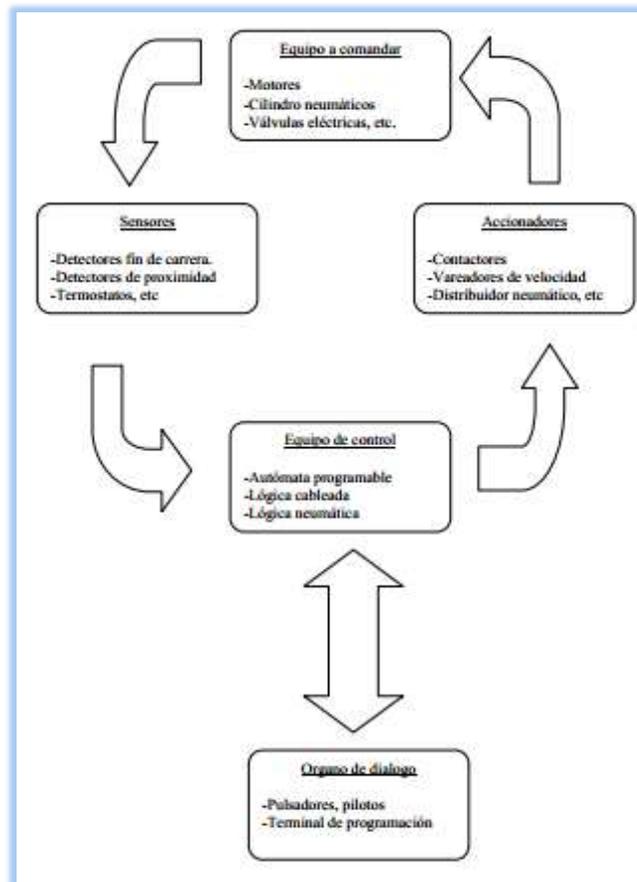


Figura 2.19. Diagrama del comportamiento de un PLC.  
Fuente: Elaboración propia.

## **Análisis y Comparación de Sistemas de Presión Constante**

Según Flygt (2004), Los Sistemas de Presión Constante son aquellos en donde se suministra agua a una red de consumo, mediante unidades de bombeo que trabajan directamente contra una red cerrada.

Los sistemas de bombeo a presión constante se clasifican en dos grupos principales, a saber:

- Sistema de bombeo contra red cerrada a velocidad fija.
- Sistema de bombeo contra red cerrada a velocidad variable.

A continuación se explican ambos sistemas.

**a) Sistema de bombeo contra Red cerrada a velocidad fija**

Según Flygt (2004), Son aquellos sistemas en donde dos o más bombas trabajan en paralelo a una velocidad invariable para cubrir demandas de consumo instantáneo de la red servida. Un nombre más apropiado para estos sistemas sería el de Sistemas de Bombeo Continua a Velocidad Fija. A pesar de lo anteriormente expuesto, estos sistemas se convierten en Sistemas de Presión Constante con el uso de válvulas reguladoras, que son usadas cuando en la red se requiere en verdad, una presión uniforme. En estos sistemas el funcionamiento aditivo de las bombas se efectúa mediante los diferentes métodos de registrar la demanda en la red; lo cual sirve además para clasificarlos.

- Con sensor de presión (TANKLESS): Según Flygt (2004), En estos sistemas el funcionamiento aditivo de las unidades de bombeo se accionan por señales recibidas de sensores de presión colocados en la red servida que encienden y apagan las bombas.
- Con sensor diferencial de presión: Según Flygt (2004), Estos tipos de sistemas incorporan una placa de orificio, tubo Venturi, inserto corto o cualquier otro mecanismo medidor de caudal que acciona un presostato diferencial para lograr un funcionamiento aditivo de las bombas.
- Con medidores de caudal hidrodinámicos: Según Flygt (2004), Son sistemas que incorporan rotámetros, tubos pitots o cualquier otro medidor hidromecánico de velocidad. En ellos, determinada la velocidad se calcula el caudal por sección/velocidad; a este grupo específico pertenece el PACOMONITOR.
- Con medidores de caudal electromagnético: Según Flygt (2004), Son sistemas que registran el caudal por medio de la inducción de un campo, producido por la velocidad de la masa de agua pasante, el medidor crea

una resistencia que es registrada por un transductor que da las señales de encendido y apagado de las bombas.

**b) Sistemas de bombeo contra red cerrada a velocidad variable**

Según Flygt (2004), Son aquellos sistemas en los cuales la unidad de bombeo varía su velocidad de funcionamiento en razón al caudal de demanda de la red, mediante el cambio de velocidad en el impulsor de la bomba que se logra de diferentes formas, las cuales sirven a su vez para clasificarlos en:

- Variadores de velocidad por medio de motores de inducción: Según Flygt (2004), El motor es el denominado Tipo Escobillas y en él se usa un sensor de presión y/o caudal con un transductor que hace que el voltaje varíe en los secundarios y por ende varíe la velocidad de funcionamiento
- Variadores de velocidad por medio de rectificadores de silicon: Según Flygt (2004), En este caso se usan motores normales en jaula de ardilla y un sensor electrónico de presión y/o caudal, que por intermedio de un transductor hace que el circuito rectificador de S.R.C. varíe el ciclo de la onda de C.A., variando por ende la velocidad de motor.
- Variadores de velocidad por medio de moto-variadores mecánicos: Según Flygt (2004), La velocidad de la bomba es regulada por un moto-variador que consta de un motor estándar acoplado a una caja variadores de velocidad, integrada por un juego de correas en " V " que corre sobre poleas de diámetro variable, accionándose el conjunto por un mecanismo electromecánico que recibe una señal de un sensor de presión y/o caudal.
- Variadores de velocidad por medio de moto-variadores eléctricos: Según Flygt (2004), En este tipo de sistemas se usa un variador electromagnético que consta generalmente de un motor de tipo jaula de

ardilla, que mueve un electroimán que es excitado por una corriente secundaria de una intensidad proporcional a la presión y/o caudal registrados en la red que arrastra o no, a mayor o menor velocidad el lado accionado, donde generalmente se encuentra la unidad de bombeo.

- Variadores de velocidad por medio de moto-variadores hidráulicos: Según Flygt (2004), Este consta generalmente, de un motor de tipo jaula de ardilla, que acciona un acoplamiento hidráulico, en donde un mecanismo hidráulico mecánico regula la velocidad de salida, (accionamiento de la bomba) en forma proporcional a la presión de la red, por medio de la cantidad de fluido que suministra el acople hidráulico.

Según Flygt (2004), Los mecanismos utilizados para registrar presión y/o caudal en este tipo de sistema son similares a los especificados para los sistemas a velocidad constante.

En el caso de sistemas con más de una bomba, el funcionamiento aditivo se efectúa teniendo cuidado en bloquear la unidad en turno de funcionamiento a su velocidad máxima y variándola en la bomba que entra en servicio auxiliar, también se logra arrancando adicionalmente una bomba a velocidad fija y bajando al mínimo la velocidad en el variador.

En la práctica, los sistemas de velocidad variable se justifican solo en redes con amplios rangos de fluctuación de caudal y valores de fricción altos, ya que como en las bombas centrífugas la presión de descarga es razón cuadrática a la velocidad de funcionamiento, es muy poca, (5% o menos), la variación de velocidad y el posible ahorro de consumo eléctrico se diluyen en las pérdidas de rendimiento de los mecanismos variadores de velocidad, salvo en el caso de los rectificadores de silicón que parecen ser los más confiables y modernos en la actualidad; su aplicación solo está limitada por los altos costos de adquisición de sus componentes, aunque ya este tipo de variador es ampliamente usado en la industria, y cada día más se hacen más asequibles.

c) **Ventajas y desventajas de los sistemas de bombeo contra red cerrada a velocidad constante.**

Tabla 2.1. Ventajas y desventajas de presostatos mecánicos

	<b>Presostatos Mecánico</b>
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No requiere energía auxiliar</li> <li>• Pueden conmutar corriente alterna y corriente continua</li> <li>• Integración eléctrica sin tarjetas de entrada analógicas</li> <li>• Conmutación de corrientes de voltaje alto sin relé adicional</li> <li>• Solución económica para funciones redundantes de seguridad</li> <li>• Configuración sencilla de los puntos de interrupción</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallas mecánicas del contacto</li> <li>• Sulfatación del contacto por humedad</li> <li>• Sulfatación de resorte de tiempo por un humedad o por insectos</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 2.2. Ventajas y desventajas de medidor diferencial de presión

	<b>Medidor Diferencial de Presión, usando un presostato diferencial</b>
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No requiere energía auxiliar</li> <li>• Pueden conmutar corriente alterna y corriente continua</li> <li>• Integración eléctrica sin tarjetas de entrada analógicas</li> <li>• Conmutación de corrientes de voltaje alto sin relé adicional</li> <li>• Solución económica para funciones redundantes de seguridad</li> <li>• Configuración sencilla de los puntos de interrupción</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallas mecánicas del contacto</li> <li>• Sulfatación del contacto por humedad</li> <li>• Sulfatación de resorte de tiempo por un humedad o por insectos</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 2.3. Ventajas y desventajas de medidores de caudal hidrodinámicos

<b>Con Medidores de Caudal Hidrodinámicos (Por Ejemplo: Tubo Pitot)</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un instrumento liviano, portátil y resistente.</li> <li>• Su instalación no requiere de mucho tiempo.</li> <li>• Este instrumento cuenta con la facilidad de poder ensamblarlo en una tubería en funcionamiento, sin detener la operación del sistema.</li> <li>• La facilidad que presenta el aparato para la medición del diámetro interior de la tubería en cuestión.</li> <li>• Cuenta con un rango de error del 2%, atendiendo a las recomendaciones fijadas por el fabricante y a la calibración del equipo.</li> <li>• Puede ser instalado en registradores gráficos y registradores digitales</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Como es un instrumento que determina la medición del caudal a través de la cuantificación de la velocidad del flujo, es un medidor de gasto indirecto.</li> <li>• La instalación de este equipo tiende a ser un poco difícil, por utilizar algunos otros instrumentos ajenos al equipo.</li> <li>• Con cierta cantidad de partículas en suspensión la toma de presión tienden a obstruirse.</li> <li>• Se requiere personal capacitado para su operación.</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 2.4. Ventajas y desventajas de medidores de caudal electromagnéticos

<b>Medidores de Caudal Electromagnéticos</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No presentan obstrucciones al flujo, por lo que son adecuados para la medida de todo tipo de suspensiones, barros, melazas, etc.</li> <li>• El costo de mantenimiento es realmente muy bajo.</li> <li>• No dan lugar a pérdidas de carga, por lo que son adecuados para su instalación en grandes tuberías de suministro de agua, donde es esencial que la pérdida de carga sea pequeña.</li> <li>• Son de fácil limpieza, lo cual es muy importante en industrias como la alimentaria.</li> <li>• No son prácticamente afectados por variaciones en la densidad, viscosidad, presión temperatura y dentro de ciertos límites, conductividad eléctrica.</li> <li>• No son seriamente afectados por perturbaciones del flujo aguas arriba del medidor.</li> <li>• Pueden utilizarse para la medida del caudal en cualquiera de las dos direcciones</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El líquido cuyo caudal se mide tiene que tener una razonable conductividad eléctrica. Para fines industriales el límite práctico es del orden de 10 &amp; mho cm-1. Esto significa que los líquidos acuosos pueden manejarse adecuadamente, lo que no ocurre con líquidos orgánicos.</li> <li>• La energía disipada por las bobinas da lugar al calentamiento local del tubo del medidor.</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia*

**d) Ventajas y desventajas de los sistemas de bombeo contra red cerrada a velocidad variable**

Tabla 2.5. Ventajas y desventajas de variadores de velocidad por medio de motores de inducción

<b>Variadores de Velocidad por medio de motores de inducción</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El variador de velocidad no tiene elementos móviles, ni contactos.</li> <li>• La conexión del cableado es muy sencilla.</li> <li>• Permite arranques suaves, progresivos y sin saltos.</li> <li>• Controla la aceleración y el frenado progresivo.</li> <li>• Limita la corriente de arranque.</li> <li>• Permite el control de rampas de aceleración y deceleración regulables en el tiempo.</li> <li>• Consigue un ahorro de energía cuando el motor funcione parcialmente cargado, con acción directa sobre el factor de potencia</li> <li>• Puede detectar y controlar la falta de fase a la entrada y salida de un equipo. Protege al motor.</li> <li>• Puede controlarse directamente a través de un autómatas o microprocesador.</li> <li>• Se obtiene un mayor rendimiento del motor.</li> <li>• Nos permite ver las variables (tensión, frecuencia, r.p.m, etc.)</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un sistema caro, pero rentable a largo plazo.</li> <li>• Requiere estudio de las especificaciones del fabricante.</li> <li>• Requiere un tiempo para realizar la programación.</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 2.6. Ventajas y desventajas de variadores de velocidad por medio de rectificador de silicon

<b>Variadores de velocidad por medio de rectificadores de silicón</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción en el consumo de energía eléctrica por efectos de reducción del pico del par de arranque</li> <li>• Mejoramiento de la rentabilidad y la productividad de los procesos productivos, debido a la posibilidad de aumentar la capacidad de producción incrementando la velocidad del proceso</li> <li>• Protección del motor por contar internamente con sistemas de protección además de permitirle mayor vida útil al motor por reducción de impactos mecánicos a través de la asignación de rampas de aceleración y desaceleración para eventos de arranque y parada</li> <li>• Ahorro en mantenimiento, por no contar con piezas mecánicas que puedan sufrir envejecimiento por desgaste mecánico</li> <li>• Posibilidad de realizar lazos de control y de interactuar con el proceso gracias a que actualmente muchos variadores de velocidad cuentan con funciones de control PID, además de activar señales de alarmas en casos de falla del proceso entre otras muchas posibilidades</li> <li>• Contar con posibilidad de funciones de PLC básico, y de frenado dinámico</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitación de la corriente de arranque</li> <li>• La instalación programación y mantenimiento, debe ser realizada por personal calificado</li> <li>• Las averías del variador se deben enviar a la fábrica para su reparación, mientras tanto se debe contar con otro variador, para no dejar la instalación sin funcionamiento</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 2.7. Ventajas y desventajas de variadores de velocidad por medio de moto-variadores mecánicos

<b>Variadores de velocidad por medio de moto-variadores mecánicos</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montaje e Instalación sencilla</li> <li>• Mantenimiento con un bajo costo</li> <li>• Bajo costo de adquisición</li> <li>• Reducción de espacio en el sistema de bombas</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe tener consideración de instalación para las aplicaciones en ambientes químicos, radioactivos, salinos y con diferente presión atmosférica.</li> <li>• En caso de ruptura del reductor, podrían resultar peligrosos para el operador</li> <li>• Fallas mecánicas en sus piezas por tiempo de uso</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 2.8. Ventajas y desventajas de variadores de velocidad por medio de moto-variadores eléctricos

Variadores de velocidad por medio de moto-variadores eléctricos	
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montaje e Instalación sencilla</li> <li>• Mantenimiento con un bajo costo</li> <li>• Bajo costo de adquisición</li> <li>• Reducción de espacio en el sistema de bombas</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe tener consideración de instalación para las aplicaciones en ambientes químicos, radioactivos, salinos y con diferente presión atmosférica.</li> <li>• En caso de ruptura del reductor, podrían resultar peligrosos para el operador</li> <li>• Fallas eléctricas en sus piezas por tiempo de uso</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 2.9. Ventajas y desventajas de variadores de velocidad por medio de moto-variadores hidráulicos

	Variadores de velocidad por medio de moto-variadores hidráulicos
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montaje e Instalación sencilla</li> <li>• Mantenimiento con un bajo costo</li> <li>• Bajo costo de adquisición</li> <li>• Reducción de espacio en el sistema de bombas</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe tener consideración de instalación para las aplicaciones en ambientes químicos, radioactivos, salinos y con diferente presión atmosférica.</li> <li>• En caso de ruptura del reductor, podrían resultar peligrosos para el operador</li> <li>• Fallas hidráulicas en sus piezas por tiempo de uso</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia*

## Análisis y comparación de sistemas de arranque aplicado en sistemas de bombeo

Según Flygt (2004), “El controlar el arranque de las bombas tiene la ventaja de limitar las puntas de intensidad que en esta operación tiene lugar, aumentándose de este modo, la vida útil de los bobinados y, por tanto, de los grupos moto-bomba”

A continuación se describirá los distintos sistemas existentes, así como sus ventajas y desventajas.

### a) Arranque directo DOL (DIRECT ON LINE)

El arranque directo es la forma más sencilla de arrancar el motor de una bomba. Sin embargo, la punta de corriente en el arranque que este genera es considerable, pudiendo estar entre 5 y 7 veces la intensidad nominal del motor, dependiendo del número de pares de polos de este.

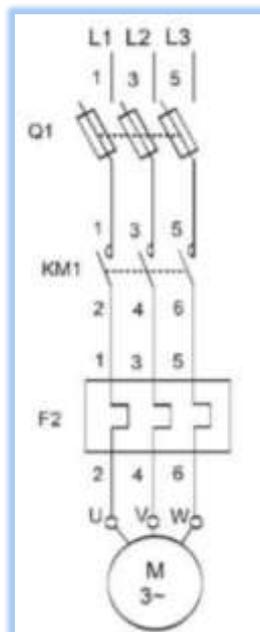


Figura 2.20. Circuito de Fuerza  
Fuente: Schneider Electric, 2016

Esta punta de corriente va reduciéndose hasta que el motor alcanza el régimen nominal, operación que dura aproximadamente un segundo. Un motor de inducción está perfectamente preparado para soportar las tensiones térmicas que se generan en ese tiempo. Sin embargo, cuanto más

se utilice este tipo de arranque, más se deterioran los bobinados y disminuirá la vida útil del equipo; por lo que hay casos en los que no compensa.

Para poder comparar con otros sistemas de arranque que limitan esta punta, hay que tener en cuenta durante cuánto tiempo se mantiene la sobreintensidad. La punta multiplicada por el tiempo que dura, nos da la energía que contribuye a la fatiga térmica del aislamiento del motor, lo cual está directamente relacionado con su duración.

Con independencia del grado de protección del que se quiera dotar a la bomba, el arranque directo no se puede aplicar en todos los casos por las siguientes razones:

- Normativa local, limitación a partir de determinadas potencias
- Debilidad de la fuente de suministro, La elevada punta de arranque en directo puede afectar a otros equipos conectados a la red.

#### **b) Arranques indirectos: disminución de la punta de intensidad en el arranque**

Los sistemas existentes, para arrancar un motor de forma suave, disminuyendo la punta de arranque, son los siguientes:

- Arranque Estrella – Triangulo
- Arranque con autotransformador
- Arranque estático (suave)
- Variador de frecuencia

Como principio general, para reducir la punta de corriente se recurre a regular la tensión, ya que tanto el par motor como la intensidad son proporcionales al cuadrado de la tensión.

$$\frac{T}{T_{nom}} = \left( \frac{U}{U_{nom}} \right)^2 \quad (3)$$

$$\frac{I}{I_{nom}} = \left( \frac{U}{U_{nom}} \right)^2 \quad (4)$$

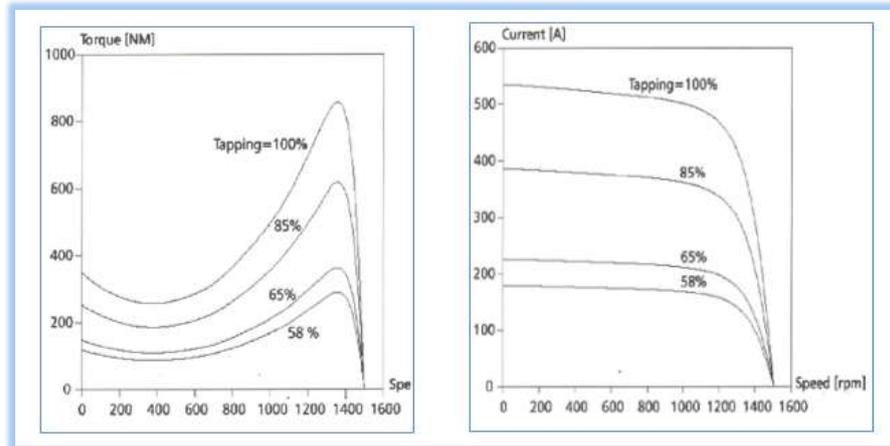


Figura 2.21. Curvas motor en funcion de la variacion de la tension

Fuente: Flygt (2004)

La relación entre la tensión regulada y la tensión nominal la denominamos tapping. Podemos entonces relacionar el tapping con el par motor y con la intensidad.

Al reducir la intensidad reduciendo la tensión, también se reduce el par de arranque, lo que no es muy relevante, ya que, al principio de un ciclo de arranque, el par resistente en una bomba centrífuga es pequeño.

Para poder acelerar el motor, necesitamos un par de aceleración. Esta es la diferencia entre el par motor y el par resistente.

Existe un tiempo de conexión hasta el 100% del tapping (tensión de línea). Para conectarse a la tensión de red, se debe haber alcanzado previamente casi la velocidad nominal del motor. En este momento, el motor se encontrara en condiciones de régimen, y la intensidad en el arranque se habrá reducido notablemente.

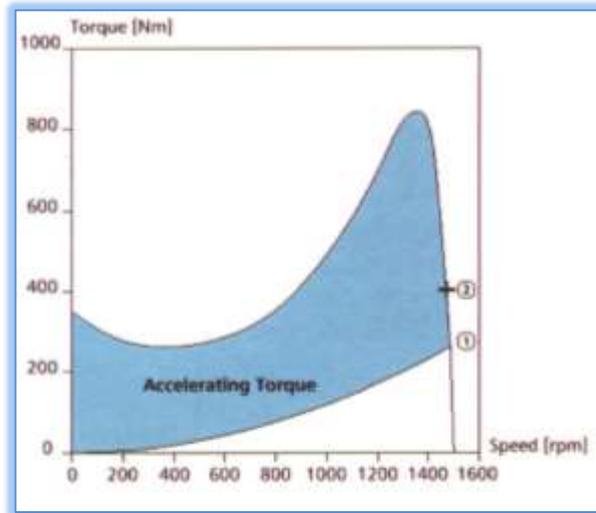


Figura 2.22. El par resistente es proporcional al cubo de la velocidad.

Fuente: Flygt (2004)

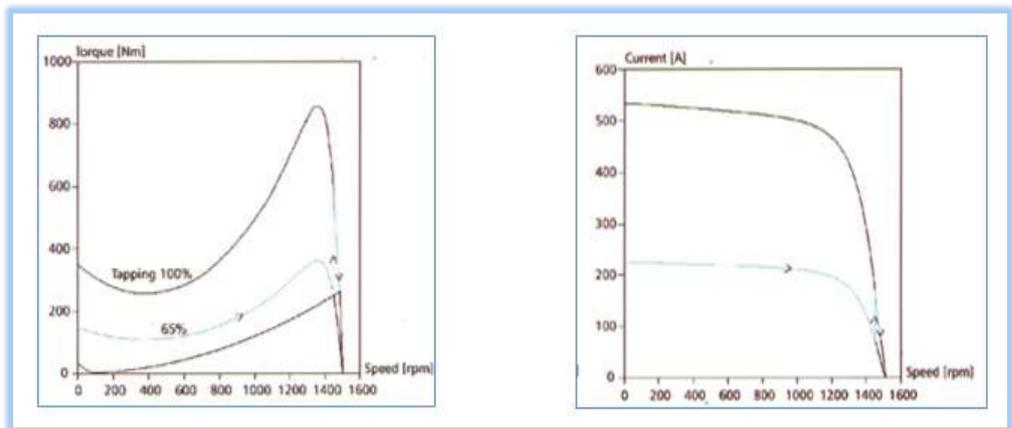


Figura 2.23. Situación óptima de conexión a la tensión de línea, en un caso hipotético del 65% de tapping

Fuente: Flygt (2004)

El tapping más bajo posible se determina por la curva de par resistente y la curva de par motor. El motor no podrá acelerar si la curva de par resistente intercepta a la curva de par motor. La conexión a la tensión de línea se hará a baja velocidad y resultara en una alarma de sobreintensidad. Es el caso de un tapping demasiado bajo y un tiempo de conexión muy corto.

En cambio, un tiempo de conexión demasiado alto significaría que el motor estaría funcionando a tensión reducida, con falta de magnetización, caída de rendimiento y sobrecalentamiento, con el consiguiente disparo de la protección interna.

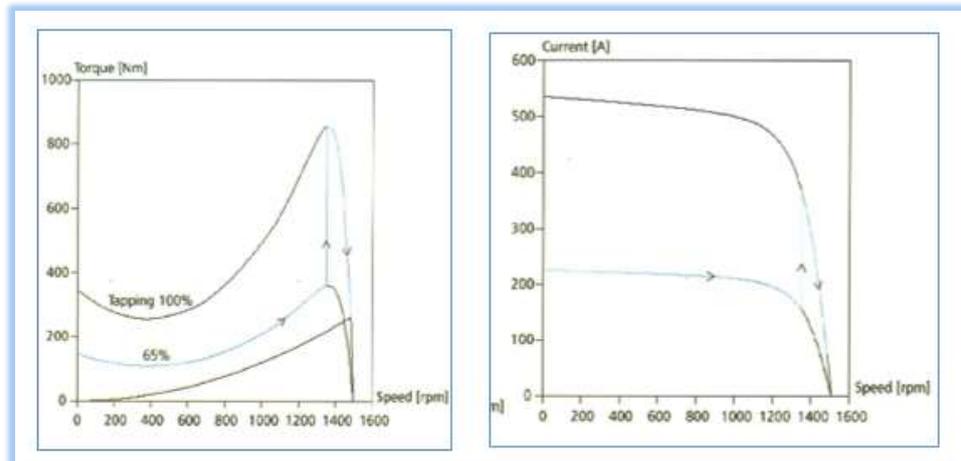


Figura 2.24. Ejemplo de tiempo de conexión a la tensión de línea demasiado cortó

Fuente: Flygt (2004)

### Arranque estrella – triángulo

Según Schneider Electric (2016), “Solo es posible utilizar este modo de arranque en motores en los que las dos extremidades de cada uno de los tres devanados estáticos vuelven a la placa de bornes. Por otra parte, el devanado debe realizarse de manera que el acoplamiento en triángulo corresponda con la tensión de la red: por ejemplo, en red trifásica de 380v, es preciso utilizar un motor devanado a 380v en triángulo y 660v en estrella.”

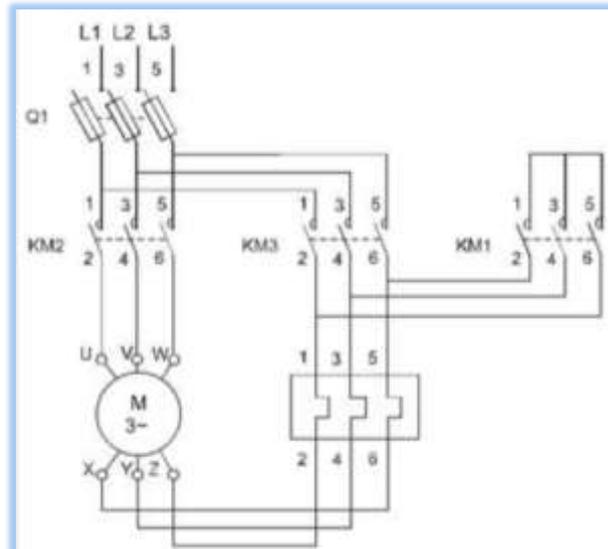


Figura 2.25. Circuito de Fuerza  
Fuente: Schneider Electric (2016)

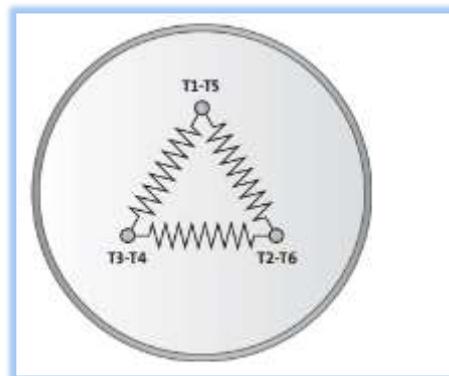


Figura 2.26. Configuración de arranque en estrella  
Fuente: Grundfos (2016)

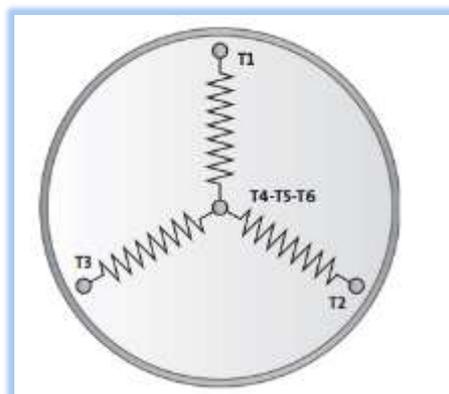


Figura 2.27. Configuración de arranque en triángulo  
Fuente: Grundfos (2016)

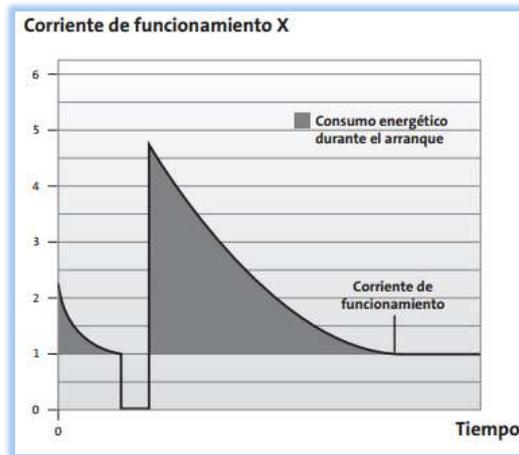


Figura 2.28. Flujo de corriente mediante arranque estrella/triángulo  
Fuente: Grundfos (2016)

El principio consiste en arrancar el motor acoplado los devanados en estrella a la tensión de la red, lo que equivale a dividir por  $\sqrt{3}$  la tensión nominal del motor en estrella (en el ejemplo anterior, la tensión de la red  $380\text{ V} = \frac{660\text{ V}}{\sqrt{3}}$ ). La punta de corriente durante el arranque se divide por 3:

$$I_d = 1,5 \text{ a } 2,6 I_n. \quad (5)$$

Un motor de  $380\text{ V} / 660\text{ V}$  acoplado en estrella a su tensión nominal de  $660\text{ V}$  absorbe una corriente  $\sqrt{3}$  veces menor que si se acopla en triángulo a  $380\text{ V}$ . La corriente se divide nuevamente por  $\sqrt{3}$ , por lo que en total se divide por 3.

El par de arranque se divide igualmente por 3, ya que es proporcional al cuadrado de la tensión de alimentación:

$$C_d = 0,2 \text{ a } 0,5 C_n. \quad (6)$$

La velocidad del motor se estabiliza cuando se equilibran el par del motor y el par resistente, normalmente entre el 75 y 85% de la velocidad

nominal. En ese momento, los devanados se acoplan en triangulo y el motor rinde según sus características naturales.

Un temporizador se encarga de controlar la transición del acoplamiento en estrella al acoplamiento en triangulo. El cierre del contactor de triangulo se produce con un retardo de 30 a 50 milisegundos tras la apertura del contactor de estrella, lo que evita un cortocircuito entre fases.

La corriente que recorre los devanados se interrumpe con la apertura del contactor estrella y se restablece con el cierre del contactor de triangulo. El paso al acoplamiento en triangulo va acompañado de una punta de corriente transitoria tan breve como importante, debida al  $f_{cm}$  del motor.

El arranque estrella –triangulo es apropiado para las maquinas cuyo par resistente es débil o que arrancan en vacío. Dependiendo del régimen transitorio en el momento del acoplamiento en triangulo, puede ser necesario utilizar una variante que limite los fenómenos transitorios cuando se supera cierta potencia; existen varios sistemas.

Un sistema es introducir una temporización de 1 a 2 segundos al paso estrella-triangulo. Esta medida permite disminuir la  $f_{cm}$  y, por tanto, la punta de corriente transitoria. Esta variante solo puede utilizarse en máquinas cuya inercia sea suficiente para evitar una deceleración excesiva durante la temporización.

Otro sistema es arrancar en 3 tiempos: estrella-Triangulo + resistencia-triangulo.

El corte se mantiene, pero la resistencia se pone en serie aproximadamente durante tres segundos con los devanados acoplados en triangulo. Esta medida reduce la punta de corriente transitoria. El uso de

estas variantes conlleva la instalación de componentes adicionales y el consiguiente aumento del coste total.

### **Arranque con autotransformador**

El arranque por autotransformador es un sistema prácticamente obsoleto. Un autotransformador es básicamente un transformador con diferentes arrollamientos en el secundario proporcionando diferentes tensiones de salida, siendo estas conmutables. Este sistema proporciona tappings estándar que normalmente están sobre el 58%,65%,75% y 85%. La bomba arranca a una tensión reducida según el tapping seleccionado y después de un cierto tiempo se conecta a la tensión de línea (100% tapping).

### **Arranque estático (suave)**

Es un sistema que permite un arranque a tensión reducida como el estrella- triángulo o el autotransformador, aunque más sofisticado. Con este sistema se puede cambiar la tensión continuamente, trabajando con una aceleración continua. De esta forma, se ajusta el par motor para que sea sensiblemente superior al par resistente en cada momento, produciéndose de esta manera una aceleración progresiva o suave del impulsor

Básicamente, está constituido por tres pares de tiristores contrapuestos. Para crear una rampa de aceleración o deceleración se controla la puerta de los tiristores. Un tiristor es, básicamente, un semiconductor de potencia formado por una estructura PNP. Funciona como un diodo en el que se puede controlar la puerta, realizando una regulación del paso de corriente.

El montaje de los tiristores se realiza en tres bloques, uno por fase, que se conectan en anti paralelo. La estructura completa del arrancador puede verse en la figura 2.29.

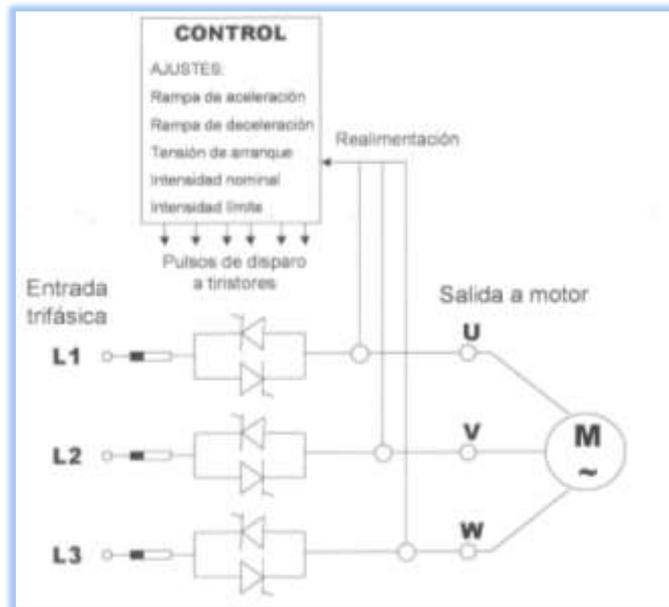


Figura 2.29. Esquema de un arrancador suave  
Fuente: Flygt (2004)

Los tiristores producen un efecto rectificador que solo toma un trozo de la onda sinusoidal, de esta manera se controla la energía facilitada al motor, y por tanto, la velocidad del mismo.

La parada puede ser a rueda libre, actuando como un contactor, o bien controlada, reduciendo la tensión progresivamente con la consecuente disminución progresiva de la velocidad.

En un arrancador estático o suave se pueden ajustar tanto el tiempo de arranque como la intensidad máxima permitida. El tiempo de arranque necesario depende del diseño del sistema hidráulico, pero es recomendable para evitar un calentamiento excesivo no sobrepasar los 30 segundos de rampa. La intensidad máxima puede fijarse al 300% de la consumida a pleno régimen.

En impulsiones en las que se pueda producir un golpe de ariete considerable, es preferible reducir la velocidad gradualmente antes de desconectar la bomba. Esta función la realiza perfectamente un arrancador estático ya que mantiene el par motor mientras reduce la velocidad.

En un arrancador estático, la reducción de velocidad se produce como consecuencias de la reducción de la tensión, lo que incrementa el deslizamiento. Como ya hemos visto, el par motor caerá con el cuadrado de la variación de la tensión, y en bombeos con una altura geométrica elevada existe un riesgo de que el motor se “cale”. Esto se debe a las desfavorables características par-velocidad de un motor de inducción con rotor en jaula de ardilla, con respecto al control de velocidad reduciendo la tensión.

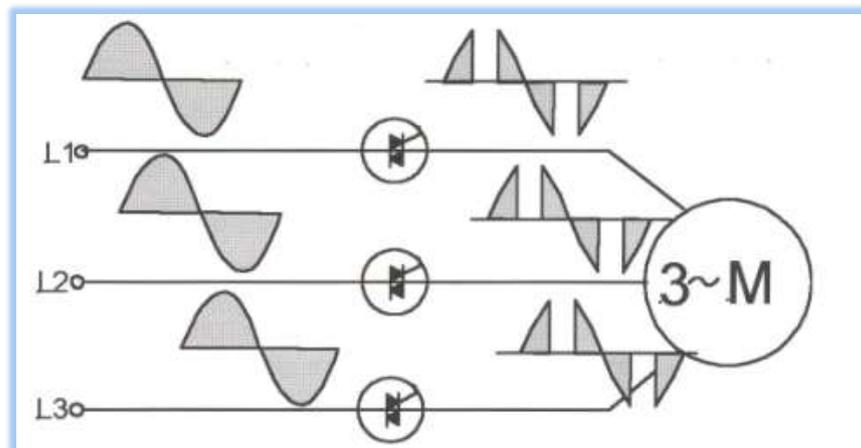


Figura 2.30. Ejemplo de modificación de la onda por un arrancador suave

Fuente: Flygt (2004)

Algunos fabricantes de arrancadores suaves utilizan un sistema, no exento de riesgos, para evitar este fenómeno. La idea básica es dejar al motor deslizarse hasta una zona inestable de la curva de par-velocidad, y entonces aumentar la tensión para subir el par y no dejar que el motor pare. Si los parámetros de parada no se introducen correctamente, el equipo de arranque acelerará y pasará alternativamente el motor. Esto causará transitorios de intensidad considerable que podrían dañar el motor y otros equipos cercanos.

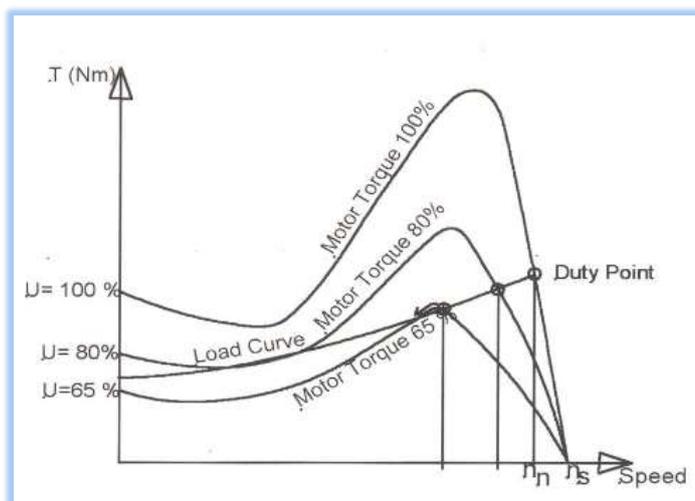


Figura 2.31. Curva par-velocidad en función de la tensión aplicada

Fuente: Flygt (2004)

Por otro lado, los arrancadores estáticos son muy sensibles a los picos de intensidad y de tensión, como ocurre en general con la electrónica de potencia. Al mismo tiempo, hay que tener en cuenta que son una fuente de armónicos importante que puede producir sobrecalentamiento en el motor. Esto se debe a la variación de la potencia de entrada y a la utilización de semiconductores. Para cumplir con la normas CEM de compatibilidad electromagnética se deben instalar inductancias de línea. La mayor parte de estos problemas se resuelven hoy en día con una correcta instalación y parametrización de los arrancadores. Esta instalación debe poseer todo los elementos de protección para evitar los problemas descritos anteriormente.

### Arranque con variador de frecuencia (VFD: Variable Frequency Drive)

Un variador de frecuencia permite el control de la velocidad de la bomba; y por tanto del caudal y de la altura, actuando sobre la frecuencia que le llega al motor eléctrico. Por tanto, además de suavizar los arranques, los variadores de frecuencia nos permiten hacer regulaciones exactas del caudal que deseamos enviar en un momento dado.

Esto permite:

- Mantener constante el caudal de agua que se está bombeando independiente de la cota dentro del pozo, pero dependiente de los límites físicos de la bomba)
- Mantener constante el nivel en el pozo independiente del caudal que se tenga que bombear.

El primer punto tiene mucha aplicación por ejemplo en las depuradoras

### **Comportamiento de la bomba trabajando con variador**

La velocidad de un motor asíncrono es proporcional a la frecuencia. El caudal varía de forma proporcional a la velocidad. La altura y el NPSH son proporcionales a l cuadrado de la velocidad. Por último y como consecuencia de lo anterior, la potencia es proporcional al cubo de la velocidad. Pero el rendimiento hidráulico se mantiene pese a que se reduzca la velocidad.

Estas son las llamadas LEYES DE AFINIDAD:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right) \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (7)$$

$$\frac{n_1}{n_2} = 1 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (8)$$

Todos los puntos sobre la curva Q-H (Caudal-Altura) se mueven a lo largo de una curva cuadrática con rendimiento constante hacia el origen

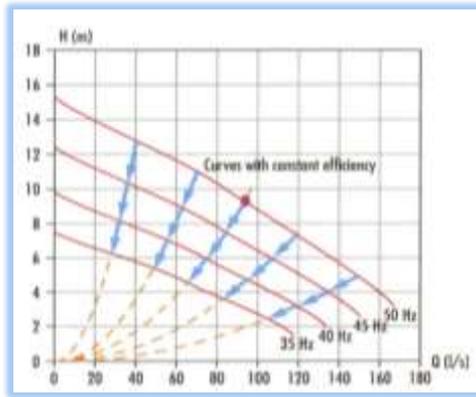
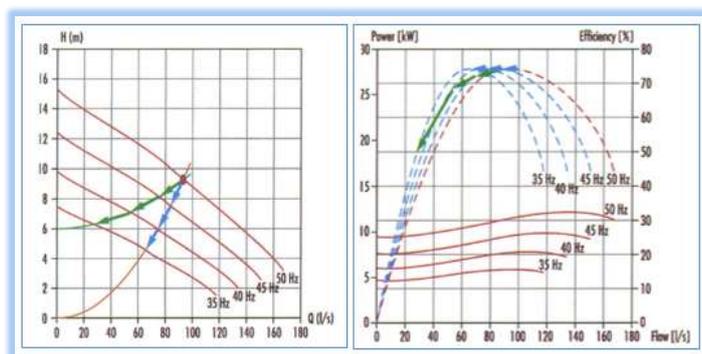


Figura 2.32. Rendimientos hidráulicos a diferentes velocidades

Fuente: Flygt (2004)

El punto de trabajo es siempre la intersección de la curva Q-H con la curva del sistema. Si el sistema tiene una altura geométrica definida, el rendimiento hidráulico variara puesto que los diversos puntos de trabajo para diferentes frecuencias no seguirán la curva cuadrática antes mencionada. Se recomienda que cuando se elija una bomba para trabajar con variador, tenga el punto de trabajo a pleno régimen en el lado derecho del punto de máximo rendimiento en la curva Q-H;

Así podremos tener rendimientos aceptables cuando reduzcamos la frecuencia.



En la figura 2.33. De la izquierda se aprecia la variación del punto de servicio sobre la curva de sistema (verde) y curva isorendimiento (amarillo). A la derecha la variación de las curvas de potencia y rendimiento con la velocidad.

Fuente: Flygt (2004)

## Control del variador con varias bombas en paralelo

Existen dos formas de controlar un sistema de bombeo con los variadores cuando se trabaja con varias bombas en paralelo. La primera es mediante control separado, en el que la regulación de la velocidad se aplica a una sola bomba, y las demás siguen funcionando a pleno régimen.

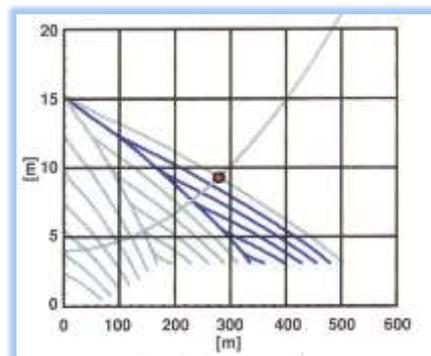


Figura 2.34. Control Separado

Fuente: Flygt (2004)

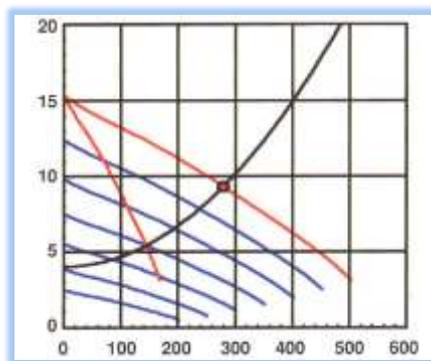


Figura 2.35. Control Común

Fuente: Flygt (2004)

Este sistema es más económico, pero en algunos casos es conveniente utilizar un control común por variador puesto que tanto el rendimiento del motor como el del variador cambiarían al reducir la frecuencia. Este último (control común) consiste en la regulación de la velocidad de todas las bombas simultáneamente, por tanto requiere variadores de mayor capacidad y más caros.

En estaciones de bombeo, es más común utilizar un único variador trabajando sobre una sola bomba, dejando el resto de las bombas a 50 Hz. El variador puede conmutar a otras bombas o permanecer fijo a una bomba determinada, no obstante el variador deber ser conectado manualmente a otra bomba cada cierto tiempo con el fin de que se equilibre el número de horas de todas ellas.

La bomba conectada al variador funcionara siempre la primera, regulando el caudal desde el mínimo requerido (colchón), cuando esta bomba llegue a 50 Hz por necesidades de la demanda, se incorporan el resto de las bombas de forma alternativa.

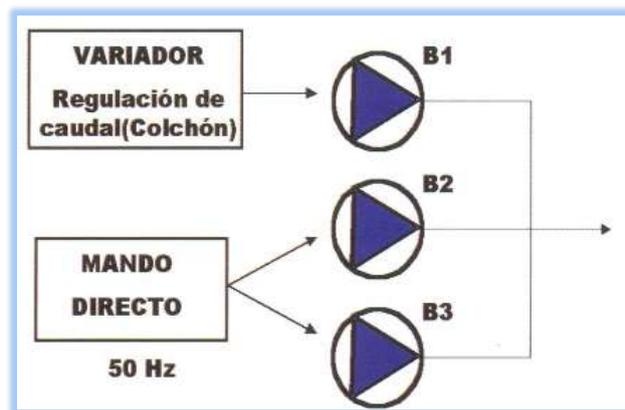


Figura 2.36. Esquema de funcionamiento de un sistema regulador por control separado

Fuente: Flygt (2004)

### Par constante y par variable

Las características de un motor eléctrico cambian con la frecuencia. El par motor es función de la tensión de entrada y de la frecuencia, según la siguiente expresión:

$$T = k * \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (9)$$

Existen dos maneras de regular la tensión de salida del variador.

Una es que la tensión sea proporcional a la frecuencia y la otra es que la tensión sea proporcional al cuadrado de la frecuencia. Así, el par será también proporcional a la frecuencia o al cuadrado de esta, según el caso. Esto es lo que, generalmente, se conoce como PAR CONSTANTE y PAR VARIABLE o CUADRATICO. En la Figura 2.37. Se puede comprobar la variación del par motor con la frecuencia y con el cuadrado de la frecuencia.

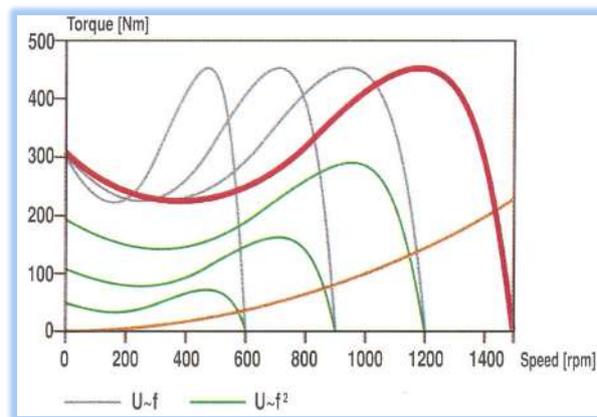


Figura 2.37: Comparación de curva de par constante y variable  
Fuente: Flygt (2004)

La curva de par resistente corta a las diferentes curvas de par motor según la frecuencia, para los dos tipos de control. En el caso de control de tensión proporcional a la frecuencia, el par máximo se encuentra siempre al mismo nivel, pero sin embargo, el corte con el par resistente se produce en una zona donde el deslizamiento ha cambiado. Si el deslizamiento cambia, el rendimiento cambia también.

### Consideraciones en la selección de un variador

Un motor de inducción siempre trabajara mejor alimentado con una fuente de tensión que produzca una onda sinusoidal pura, que normalmente es el caso de una red eléctrica comercial. En un motor en perfecto estado, no existen armónicos y las pérdidas se mantienen bajas. Cuando se le conecta a un variador, se le alimenta con una fuente que produce trozos de onda no sinusoidal, al mismo tiempo que armónicos

de todos los órdenes. Estos armónicos inducen pérdidas, mostradas en forma sobrecalentamiento en el motor.

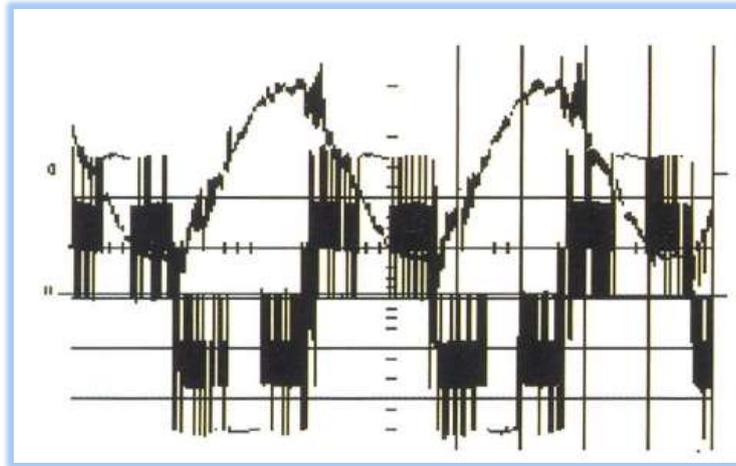


Figura 2.38: Onda de salida de un variador de frecuencia  
*Fuente:* (TFB-Flygt, 2004)

Hace unos años, se recomendaba escoger un motor que tuviera un margen de un 15% de potencia de reserva si iba a ser conectado a un variador. Hoy en día, los variadores han evolucionado de tal forma que la onda producida es parecida a la ideal, produciendo menos pérdidas. De esta forma, no sería necesario reservar ese margen. En los variadores modernos, las pérdidas causadas en el motor por los armónicos generados por el variador oscilan entre el 5% y el 10%, lo que corresponde a una caída del rendimiento del motor entre el 0,5% y el 1%, solamente.

Para elegir un variador de frecuencia, es necesario conocer los siguientes datos:

- Potencia nominal del motor
- Tensión nominal
- Intensidad nominal
- Aplicación
- Ratio Par max. /Par nom. (debe ser como mucho 2,9)

Algunas veces, se desea trabajar con el variador por encima de la frecuencia de red. En estos casos, hay que tener en cuenta que la potencia del motor aumenta con el cubo de la velocidad. La temperatura del motor aumentara también. Pero lo más significativo es que el par motor caerá como función de  $1/f$  al pasar de la frecuencia de red.

Esto se produce como consecuencia de que la tensión ha llegado al valor máximo que es la de red, es decir, el par se mantendría solo en el caso, y de que le acompañe un aumento de la tensión, que ya no es posible. Por tanto, el motor estará sobrecargado, y en un tiempo breve saltara la protección por sobreconsumo (térmica) del propio variador.

Por otro lado, el NPSH aumenta con la frecuencia de acuerdo con las leyes de afinidad. Si se desea sobrepasar la frecuencia de la red, se deben tomar ciertas precauciones:

- Comprobar la potencia nominal del variador
- Comprobar que el variador y el motor están dimensionados para la sobrecarga que se produce
- Comprobar la frecuencia base del variador
- Si es posible, elegir un motor diseñado para una frecuencia superior (por ejemplo 60 Hz)
- Comprobar posibles problemas de cavitación por el aumento del NPSH

Tabla 2.10. Ventajas y desventajas de los tipos de arranque para motores aplicados en sistemas de bombeo.

Tipos de Arranque	Ventajas	Desventajas
Arranque Directo	<p>Costo Reducido.                      No tiene límites en el número de arranques.                      Componentes ocupan poco espacio.</p>	<p>Elevada corriente de arranque.                      Provoca caídas de tensión.                      Sobredimensionamiento del sistema de protección (cables, contactores).                      Produce picos de torque.                      Aumenta el mantenimiento y quiebras mecánicas.</p>
Arranque Estrella-Triangulo	<p>Coso Reducido.                      No tiene límite en el número de arranques.                      Componentes ocupan poco espacio.                      Corriente de arranque reducida para 1/3 (curva de I).</p>	<p>Disponibilidad de 6/12 bornes de conexión.                      La tensión de red debe coincidir con la tensión en delta del motor.                      En el arranque el motor debe alcanzar por lo menos 90% de su velocidad nominal.                      Torque de arranque reducido para 1/3 del nominal.</p>
Arranque con autotransformador	<p>En el cambio de la tensión reducida a la tensión de la red, el motor no es desconectado y el segundo pico es reducido.                      Es posible obtener variaciones de Tap de 65% a 90% de la tensión de la red.</p>	<p>Limitación del número de arranques.                      Costo elevado debido al autotransformador.                      Tamaño y peso elevados en función del autotransformador.</p>
Arranque Estático	<p>Permite un arranque suave tanto eléctrica como mecánicamente                      No posee partes móviles.                      No genera arco ni inducción electromagnética.                      Reduce / limita la corriente de arranque del motor.                      Minimiza Golpes de Ariete.                      Economía de energía.</p>	<p>Se necesita personal especializado, un mal ingreso de parámetros, generara errores en los arranques.                      Son muy sensibles a los picos de intensidad y de tensión, como ocurre en general con la electrónica de potencia.                      Generan una gran cantidad de armónicos, creando sobrecalentamiento en el motor.</p>

Arranque con Variador de Frecuencia	<p>No tienen elementos móviles, ni contactos, como en el caso de los contactores.</p> <p>Permite arranques suaves, sin transiciones o saltos.</p> <p>Posibilidad de ajustar en tiempo la rampa de aceleración del motor.</p> <p>Ahorrar energía cuando el motor funciona parcialmente cargado, con acción directa sobre el factor de potencia.</p> <p>Detectar y controlar la falta de fase a la entrada y salida del equipo</p> <p>Mejor rendimiento del motor.</p> <p>El equipo no tiene limitación en cuanto al número de arranques, como sucede con la vida de los contactos.</p>	<p>Limitación de la corriente de arranque.</p> <p>Limitación en el par de arranque.</p>
-------------------------------------	---	---

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3. Definición de términos

- Variador de Frecuencia: Los variadores de velocidad son dispositivos electrónicos que permiten variar la velocidad y la cupla de los motores asincrónicos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables. (Schneider electric, 2016)
- Sensor de Presión: En un mecanismo de inyección electrónica, es la válvula que obtiene los datos del caudal de aire que penetra en el colector de admisión.
- PLC: Es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánica.
- SCADA: Cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesaria en cada caso, el control del mismo. (Rodríguez, 2007).

# **CAPITULO III**

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Material**

##### **3.1.1. Población**

Sala de bombas de la Corte Superior de Justicia de la ciudad de Trujillo en la sede ubicada en Natasha Alta.

##### **3.1.2. Muestra**

Sistema de bombeo de agua de la Corte Superior de Justicia de la ciudad de Trujillo en la sede ubicada en Natasha Alta.

##### **3.1.3. Unidad de Análisis**

Funcionamiento del sistema de bombeo de la Corte Superior de Justicia de la ciudad de Trujillo en la sede ubicada en Natasha Alta.

#### **3.2. Método**

##### **3.2.1. Nivel de Investigación**

El nivel de nuestro estudio se basa en una investigación explicativa, ya que la identificación de los diferentes problemas presentados en el sistema de bombeo que están generando un deficiente trabajo del sistema, así como, diferentes molestias en el personal que labora en la entidad pública.



## Operacionalización de las Variables

Tabla 3.1. Operacionalización de la variable dependiente

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Instrumento	Formula	Unidad de medida
Mejoramiento del sistema de bombeo de agua en la sala de bombas de la Corte Superior de Justicia (Sede Natasha Alta - Trujillo).	Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias de los sistemas y procesos.	El sistema de bombeo de la Corte Superior de Justicia (Sede Natasha Alta-Trujillo), cuenta con tres bombas, las cuales son accionadas manualmente, en donde la presión se puede visualizar a través de un manómetro.	Presión del sistema de bombeo	Presión de referencia en sistemas de bombeo	---	Psi- bares
			Abastecimiento de agua	Reclamos por falta de agua	---	Numero de reclamos

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 3.2. Operacionalización de la variable independiente

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Instrumento	Formula	Unidad de medida
Sistema de control automático y supervisión	El control, es el medio por el cual se controla el comportamiento de un proceso mediante un controlador. Así mismo se puede hacer la supervisión del proceso que se realiza mediante un software, el cual se comunica con los instrumentos del proceso y el controlador.	Utilizando un controlador y la lectura de un sensor de presión, se realiza el control de bombeo agua. La supervisión de las variables asociadas al proceso mencionado se realizará mediante la lectura de los instrumentos del proceso, lo cual se podrá realizar mediante una interfaz a realizar.	N° de variables de proceso	Diagramas de proceso e instrumentación (P&ID)	---	N° de variables
			Etapas de supervisión	Diagramas de proceso e instrumentación (P&ID)	---	N° de etapas
			N° de actuadores del proceso	Diagramas de proceso e instrumentación (P&ID)	---	N° de actuadores

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos, se han utilizado dos encuestas, las cuales han sido aplicadas a los responsables del área de mantenimiento. Las encuestas se han realizado con el objetivo de evaluar las principales causas del problema.

La tabla 3.3 muestra la encuesta 1, la cual sus preguntas fueron hechas para saber las principales molestias y quejas que recibe el personal de mantenimiento por parte del personal administrativo con respecto a su sistema de bombeo manual.

Tabla 3.3. Modelo de Encuesta 1

#### ENCUESTA ÁREA DE MANTENIMIENTO

<b>1. DATOS GENERALES (Información de la Organización)</b>
<b>1.1. Nombre completo de la Empresa u Organización:</b> Corte Superior de Justicia de Trujillo, Sede Natasha Alta
<b>1.2. Nombre de la persona encuestada:</b>
<b>2. ¿Por qué motivos son ocasionados los reclamos del personal de la Corte?</b>
<b>3. ¿Con que frecuencia se realizan los reclamos?</b>
<b>4. ¿De qué niveles del edificio existen más reclamos?</b>
<b>5. ¿En qué horas del día son más frecuentes los reclamos?</b>
<b>6. ¿A través de que medio llegan los reclamos?</b>
<b>7. ¿Cuál es el uso que le dan al agua?</b>

*Fuente: Elaboración propia*

La tabla 3.4 muestra la encuesta 2, en el cual sus preguntas se enfocan en un aspecto técnico para determinar la problemática del funcionamiento del sistema de bombeo y si existen documentos, como un registro de funcionamiento de las bombas.

Tabla 3.4. Modelo de encuesta 2

### ENCUESTA ÁREA DE MANTENIMIENTO

<b>1. DATOS GENERALES (Información de la Organización)</b>
<b>1.1. Nombre completo de la Empresa u Organización:</b> Corte Superior de Justicia de Trujillo, Sede Natasha Alta
<b>1.2. Nombre de la persona encuestada:</b>
<b>2. ¿Qué tipo de encendido cuenta el sistema de bombeo de agua potable?</b>
<b>3. ¿Cuántos equipos cuenta el sistema de bombeo de agua potable?</b>
<b>4. ¿El sistema de bombeo de agua potable con que instrumentación mide la presión de agua potable?</b>
<b>5. ¿El tablero de control, que instrumentación contiene para el respectivo funcionamiento?</b>
<b>6. ¿El sistema de bombeo de agua potable, cuenta con un tanque de reserva?</b>
<b>7. ¿Con que frecuencia se enciende el sistema de bombeo de agua?</b>
<b>8. ¿Existe un registro de funcionamiento de las bombas de agua?</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Del mismo modo para evaluar los tiempos de retraso en el encendido del sistema de bombeo, se generó la Tabla 3.4 con el horario de encendido tanto para el turno de la mañana como para la tarde.

Tabla 3.5. Horario de encendido del sistema de bombeo

<b>Semana 1</b>		
<b>Días</b>	<b>Turno Mañana</b>	<b>Turno Tarde</b>
	<b>Hora de encendido</b>	<b>Hora de encendido</b>
Lunes		
Martes		
Miércoles		
Jueves		
Viernes		
<b>Semana 2</b>		
<b>Días</b>	<b>Turno Mañana</b>	<b>Turno Tarde</b>
	<b>Hora de encendido</b>	<b>Hora de encendido</b>
Lunes		
Martes		
Miércoles		
Jueves		
Viernes		

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.5. Técnicas de Procesamiento de datos

Tabla 3.6. Análisis de encuesta 1 utilizada.

<b>ENCUESTA</b>	
<b>1. DATOS GENERALES (Información de la Organización)</b>	
<b>1.2. Nombre completo de la Empresa u Organización:</b>	Corte Superior de Justicia de Trujillo, Sede Natasha Alta
<b>1.3. Nombre de la persona encuestada:</b>	Ulloa Sánchez Carlos
<b>2. ¿Por qué motivos son ocasionados los reclamos del personal de la Corte?</b>	
	Falta de agua
<b>3. ¿Con que frecuencia se realizan los reclamos?</b>	
	Frecuentemente
<b>4. ¿De qué niveles del edificio existen más reclamos?</b>	
	Cuarto y tercer nivel
<b>5. ¿En qué horas del día son más frecuentes los reclamos?</b>	
	Para el turno de la mañana a las 11:00 am y en la tarde a las 3:00 pm
<b>6. ¿A través de que medio llegan los reclamos?</b>	
	Una caja de reclamos ubicado en cada nivel y directamente al jefe de mantenimiento
<b>7. ¿Cuál es el uso que le dan al agua?</b>	
	Servicios de agua potable y saneamiento

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 3.7. Análisis de encuesta 2 utilizada.

ENCUESTA
<b>1. DATOS GENERALES (Información de la Organización)</b>
<b>1.1. Nombre completo de la Empresa u Organización:</b> Corte Superior de Justicia de Trujillo, Sede Natasha Alta
<b>8.2. Nombre de la persona encuestada:</b> Ulloa Sánchez Carlos
<b>2. ¿Qué tipo de encendido cuenta el sistema de bombeo de agua potable?</b>
Sistema Manual
<b>3. ¿Cuántos equipos cuenta el sistema de bombeo de agua potable?</b>
Tres bombas de presurización vertical
<b>4. ¿El sistema de bombeo de agua potable con que instrumentación mide la presión de agua potable?</b>
Manómetro
<b>5. ¿El tablero de control, que instrumentación contiene para el respectivo funcionamiento?</b>
Una llave general de entrada, contactores, relés térmicos
<b>6. ¿El sistema de bombeo de agua potable, cuenta con un tanque de reserva?</b>
Si, el tranque está ubicado en la sala de bombas, sirve para mantener la presión en la línea presurizada
<b>7. ¿Con que frecuencia se enciende el sistema de bombeo de agua?</b>
Adicionalmente los dos arranques establecidos, se encienden dos o tres veces más
<b>8. ¿Existe un registro de funcionamiento de las bombas de agua?</b>
No existe ningún registro de funcionamiento de las bombas de agua

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 3.8. Análisis de encendido del sistema

Semana 1		
Días	Turno Mañana	Turno Tarde
	Hora de encendido	Hora de encendido
Lunes	7:30 am	12:35 pm
Martes	7:40 am	12:32 pm
Miércoles	7:35 am	12:40 pm
Jueves	7:30 am	12:50 pm
Viernes	7:43 am	12:30 pm
Semana 2		
Días	Turno Mañana	Turno Tarde
	Hora de encendido	Hora de encendido
Lunes	7:33 am	12:30 pm
Martes	7:45 am	12:34 pm
Miércoles	7:30 am	12:48 pm
Jueves	7:30 am	12:40 pm
Viernes	7:36 am	12:30 pm

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.6. Técnicas de análisis de datos

Con los datos obtenidos en la encuesta 1 se elaboró la tabla 3.9 en donde se muestra en síntesis el principal motivo del problema, su incidencia y en que niveles del edificio impacta más esta problemática.

Tabla 3.9. Síntesis de la encuesta 1

Síntesis de la encuesta 1			
Motivo	Frecuencia	Afectados	Problemática muy evidente
Falta de agua	Siempre	Niveles 3 y 4	

*Fuente: Elaboración propia*

Con la información obtenida con la encuesta 2 se elaboró la tabla 3.10 en donde se muestra los principales componentes, número de arranques y si

existe un registro de funcionamiento de las bombas del sistema manual de bombeo de agua de la Corte Superior de Justicia.

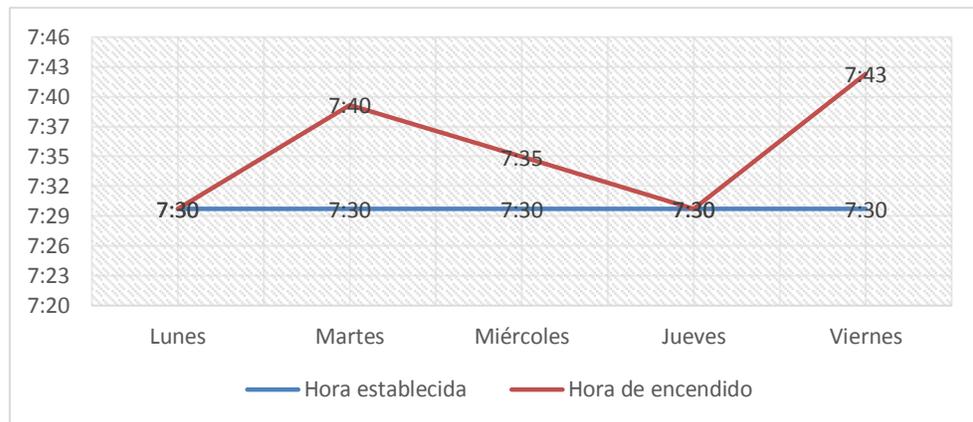
Tabla 3.10. Datos de la encuesta 2

<b>Sistema Manual</b>			
	Elementos	Cantidad	Unidad de medida
Elementos del sistema	Tres bombas de presión constante de 7.5 HP – 220v, tipo 132S/90, de 24.2 Amperios*, de 3450 rpm	3	UND
	Manómetro	1	UND
	Llave general	1	UND
	Contactares	---	UND
	Pulsadores	2	UND
	Relés Térmicos	---	UND
	N° de arranques	5	
Registro de bombas	No		

*Fuente: Elaboración propia*

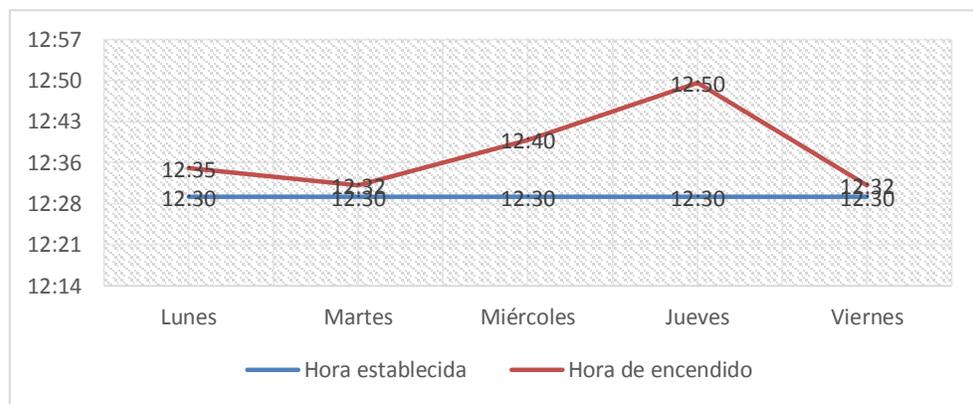
A continuación una serie de gráficos en donde se compara los horarios establecidos (7:30 am para el turno de la mañana y 12:30 pm para el turno de la tarde) con los horarios en los que realmente se enciende el sistema de bombeo manual.

Grafico 3.1. Comparación turno mañana – semana 1



*Fuente: Elaboración propia*

Grafico 3.2. Comparación turno tarde – semanal



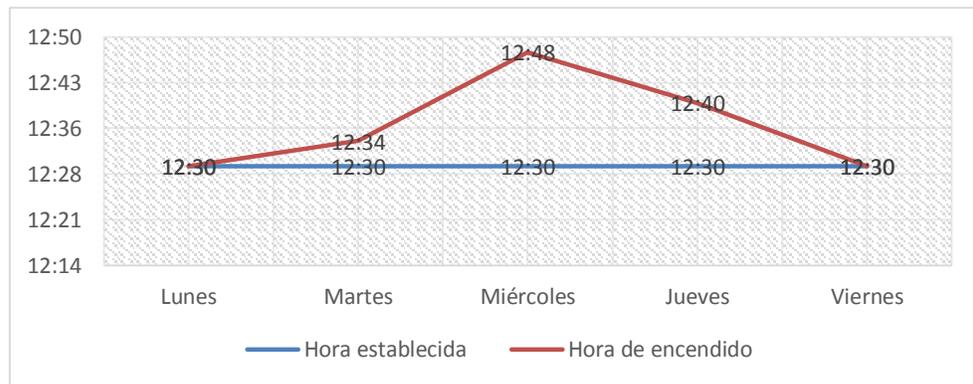
*Fuente: Elaboración propia*

Grafico 3.3. Comparación turno mañana – semana 2



*Fuente: Elaboración propia*

Grafico 3.4. Comparación turno tarde – semana2



*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 3.11. Se presenta los componentes con el que contara el sistema de bombeo.

Componentes	Descripción
<b>Llave General Termomagnetica</b>	Se usará para tener el control de la fuente general de alimentación, del Tablero de Control de la Bombas de Agua
<b>Guardamotores</b>	Se usará como interruptor magneto térmico, para tener control sobre las tres bombas de agua, como así también su protección de sus motores eléctricos
<b>PLC</b>	Se usará para programar los modos de funcionamiento (manual y automático), siguiendo los horarios de la Corte Superior de Justicia - Sede Natacha, se estructurara, una secuencia de uso de las tres bombas
<b>Variador de Frecuencia</b>	Se usará para tener el control de la velocidad del motor, de acuerdo a las

	señales obtenidas por el sensor y posterior procesamiento por parte del PLC
<b>Sensor de Presión</b>	Se usará tener en cuenta la presión del sistema y de acuerdo a esa información obtenida y procesada por el PLC se activaran las bombas, así como, la variación de sus velocidades.
<b>Selectores y Focos Señalizadores</b>	Los selectores se usarán para cambiar los estados de manual a automático. Los focos señalizadores, para mostrar los estados (on/off) de la bombas

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 3.12. Se presenta los componentes que debería mostrar el Scada.

Datos a mostrar	Reporte	Gráficas
Presión de sistema	Hora de funcionamiento	De presión
Estado de las bombas	Tiempo de funcionamiento de las bombas	De velocidad de las bombas
Alarma de sobre presión	Presión del sistema	
Velocidad de bombas	Frecuencia del motor en Hz	

*Fuente: Elaboración propia*

Teniendo ya el análisis y evaluación de los elementos con el que contará el diseño y Scada. Se procede a realizar el diseño.

### 3.2.6.1. Propuesta de diseño del sistema de control y supervisión

Se detallan los elementos necesarios para diseñar el sistema de control y supervisión empezando por la elección de los elementos del sistema, diseño del sistema de control y mando del sistema de las bombas de presión constante de la Corte Superior de Justicia sede Natacha Alta y la interconexión de los componentes.

#### 3.2.6.1.1. Elementos del sistema

Empezaremos por la elección de los componentes del sistema, los cuales son los siguientes:

En la tabla 3.13. Elementos del sistema – Llave general Termo-magnética

Elemento	Cant	Marca	Características
Llave general Termo-Magnética	1	Siemens	Corriente: 125 A
			Modelo: 3 VT1
			Alimentación: 440 V
			# polos: 3

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 3.14. Elementos del sistema – Guardamotor

Elemento	Cant	Marca	Características
Guarda motores	3	Telemecanique	Intensidad regulable: (17-23)A
			Modelo: GV2ME21
			Potencias Normalizadas para motores trifásicos 50/60Hz 230V-5,5KW / 400V-9KW
			# polos: 3

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 3.15. Elementos del sistema – Variador de velocidad

Elemento	Cant	Marca - Cantidad	Características
Variador de velocidad	3	Delta	Frecuencia de salida: 0.1-60 Hz
			Enfriamiento: Ventilador
			Entrada nominal de voltaje/frecuencia : Trifásico 22-240V (50/60 Hz) Salida máxima de voltaje: Trifásico proporcional al voltaje de entrada

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 3.16. Elementos del sistema – PLC

Elemento	Cant	Marca	Características
PLC	1	 Siemens	Modelo: Logo 12/24RC
			Tensión de Entrada : 12 – 24 Vcc
			Entradas Analógicas : 2 (0-10 V)
			Salidas Digitales : 4

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 3.17. Elementos del sistema – Sensor de presión

Elemento	Cant	Marca	Características
Sensor de presión	1	 Telemecanique	Modelo: XMLP010BC71
			Alimentación: 24V
			Entradas Analógicas : 2 (0-10 V)
			Rango : 0 -10 VDC (0 – 10 bar)

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 3.18. Elementos del sistema – Selector (biestado)

Elemento	Cant	Marca	Características
Selector	1	Telemecanique	Perilla selectora de dos posiciones metálico Secuencia de maniobra O-I
			ángulo de maniobra 50° con enclavamiento Negro 1 NA + 1 NC

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 3.19. Elementos del sistema – Selector (triestado)

Elemento	Cant	Marca	Características
Selector	1	Telemecanique	tres posiciones de maniobra Secuencia de maniobra O-I-II
			ángulo de maniobra 2 x 50° con enclavamiento Negro 1 NA + 1 NC

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 3.20. Elementos del sistema – focos señalizadores

Elemento	Cant	Marca	Características
Selector	1	Siemens	Tensión de servicio 230 V CA/CC, equipado con LED ángulo de maniobra 2 x 50° con enclavamiento Negro 1 NA + 1 NC

*Fuente: Elaboración propia*

Las hojas de datos de los equipos serán anexados al final de trabajo de investigación.

### 3.2.6.1.2. Diseño del sistema de control y mando

En la figura 3.1. Se muestra un diagrama representativo de cómo se conectará los elementos del sistema.

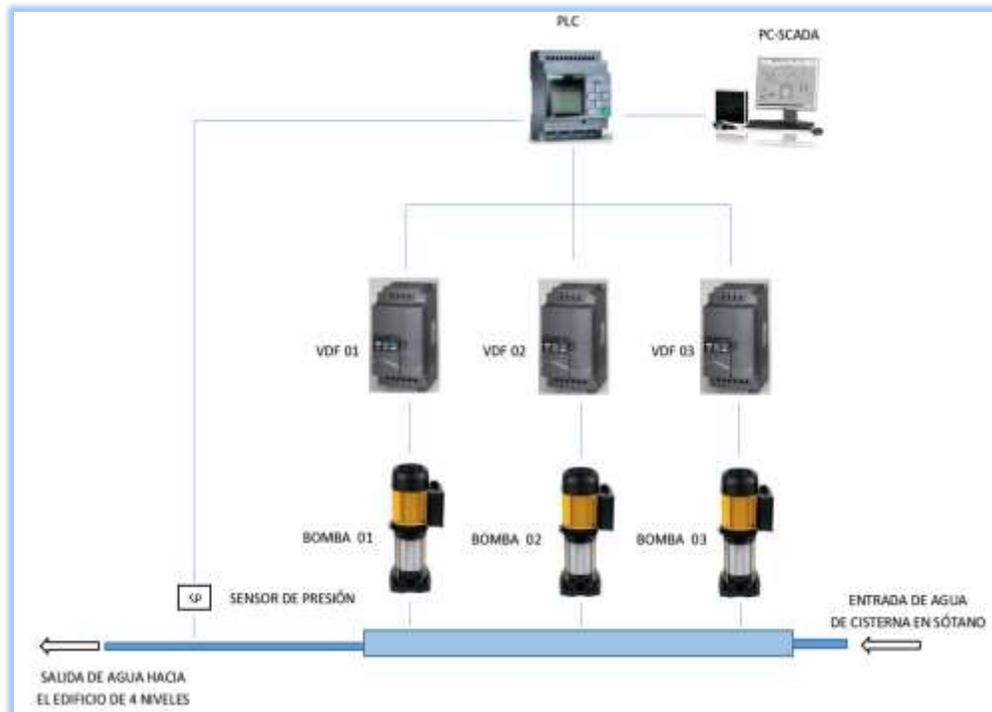


Figura 3.1. Diagrama representativo - Sistema de control  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.2 se muestra el esquema eléctrico de control para el sistema de presión constante

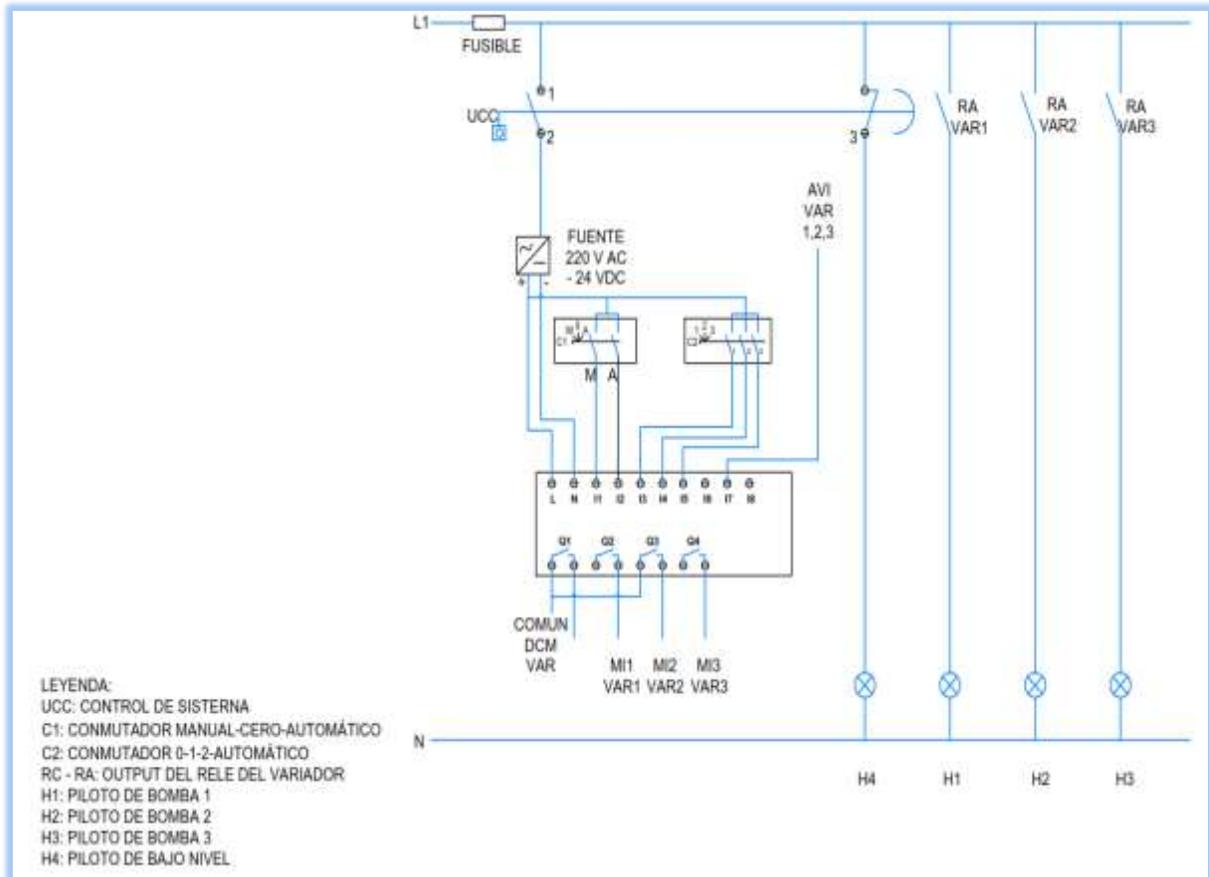


Figura 3.2. Esquema eléctrico de control  
Fuente: Elaboración propia

La adquisición de la señales del proceso se realizan de acuerdo al tipo de señal de campo, diferenciándose entre señales analógicas y señales digitales. Se ha considerado realizar la adquisición de acuerdo al sistema en que intervienen las variables en el sistema de bombeo de presión constante.

En la siguiente Tabla 3.21 y 3.22 se muestran las señales del sistema de bombeo a presión constante, según su tipo de señal.

Tabla 3.21. Señales digitales

<b>TIPO DE SEÑAL DE PROCESO</b>	<b>SEÑAL DIGITAL</b>
I1	C1.0
I2	C1.1
I3	C2.0
I4	C2.1
I5	C2.2
I6	--

*Fuente: Elaboración propia*

C1: Contactor de dos estados,

Control de manual (C1.0)

Automático (C1.1)

C2: Contactor de tres estados,

Bomba 1-2 (C2.0)

Bomba 2-3 (C2.1)

Bomba 1-3 (C2.2)

Tabla 3.22: Señales Digítales

<b>TIPO DE SEÑAL DE PROCESO</b>	<b>SEÑAL ANALOGICA</b>
I7	AI1
I8	--

*Fuente: Elaboración propia*

AVI: Sensor de presión (0- 10 v).

En la figura siguiente se muestra el esquema eléctrico de fuerza del sistema de presión constante.

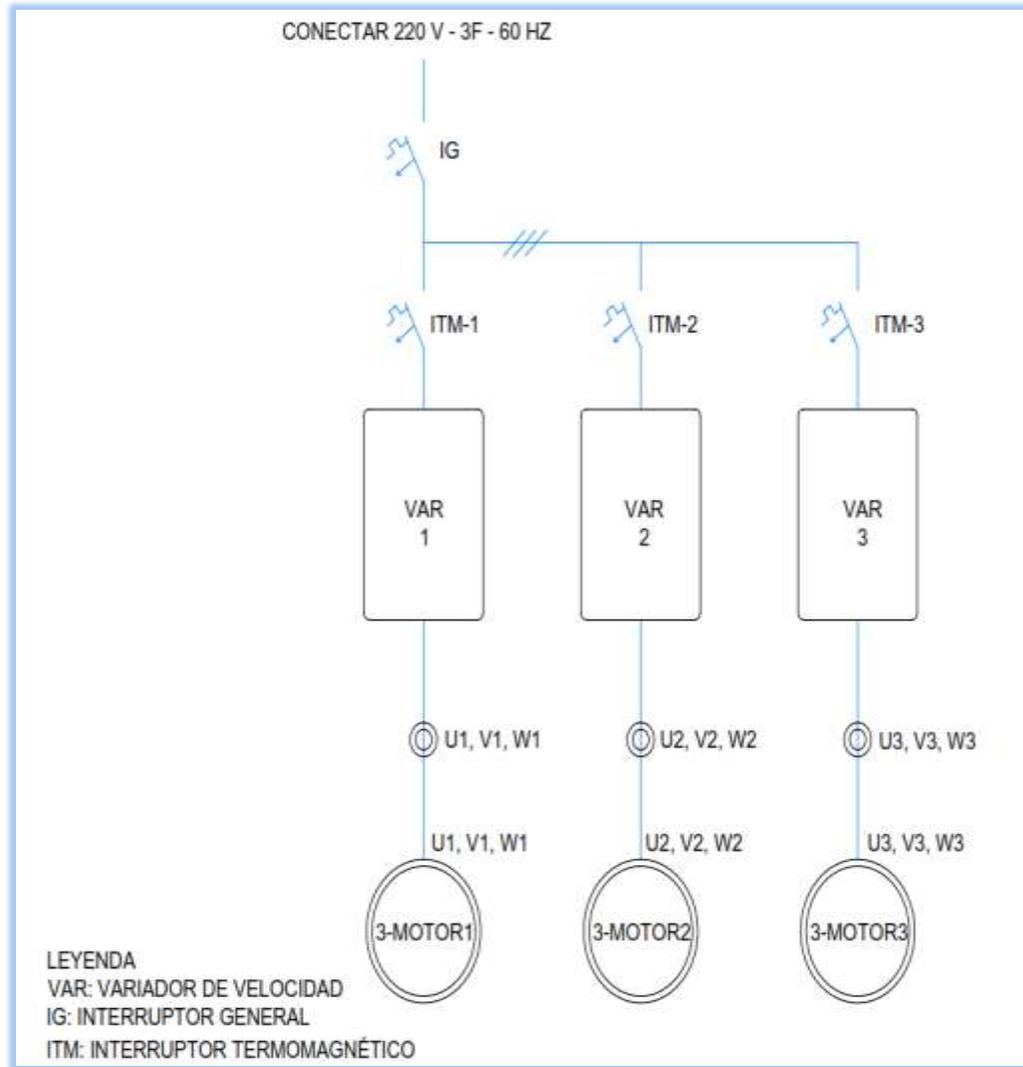


Figura 3.3. Esquema de fuerza  
 Fuente: Elaboración propia

### 3.2.6.1.3. Filosofía de control

El PLC controla los tiempos de funcionamiento de las bombas y las señales enviadas a los variadores, para el control de velocidad y encendido de las bombas. La programación del PLC obedece a la siguiente condición de funcionamiento de las bombas.

### Modo Manual:

Esta bomba se enciende en modo manual, cuando el operador pone el selector del Contacto 1, en el estado C1.0 (Según Tabla 3.21), teniendo los estados C2.0, C2.1 y C2.2 (Según Tabla 3.21), verificando que la presión llegue a 60 psi, se apaga el sistema.

### Modo Automático:

El sistema entra en modo automático, al poner el Contactor 1, en el estado C1.1 (Según Tabla 3.21), el estado de funcionamiento (encendido y apagado) de la bomba depende del sensor de presión, teniendo el siguiente funcionamiento explicando en las siguientes tablas (Ver Tabla 3.23),(Ver Tabla 3.24), (Ver Tabla 3.25)

Tabla 3.23: Intercalado de bombas de agua, secuencia 1

Presión (psi)	Bombas Encendidas	Bombas Apagadas
AI1<30	B1,B2	B3
50<AI1<60	B1	B2,B3

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 3.24: Intercalado de bombas de agua, secuencia 2

Presión (psi)	Bombas Encendidas	Bombas Apagadas
AI1<30	B2,B3	B1
50<AI1<60	B2	B1,B3

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 3.25: Intercalado de bombas de agua, secuencia 2

Presión (psi)	Bombas Encendidas	Bombas Apagadas
AI1<30	B1,B3	B2
50<AI1<60	B3	B2,V3

*Fuente: Elaboración propia*



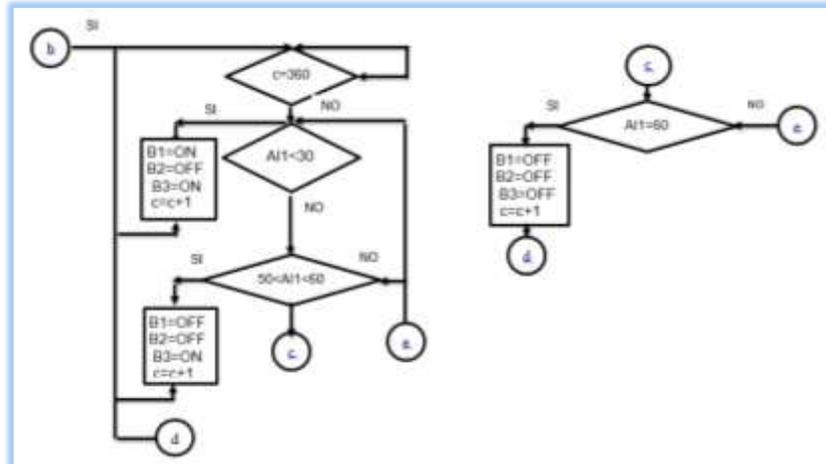


Figura 3.5. Diagrama de flujo de programación 2 – continuación  
Fuente: Elaboración propia

#### 3.2.6.1.4. Sistema de supervisión

El sistema de supervisión se basa en Scada, el cual consta de los elementos mencionados en la tabla 3.6. A continuación se muestra el Scada.

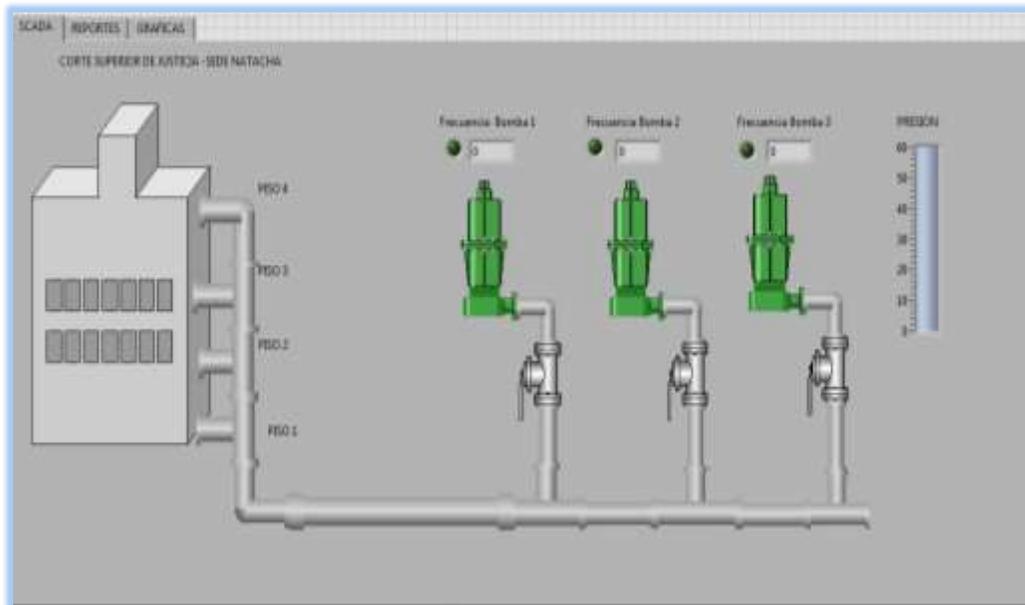


Figura 3.6. Scada del sistema de supervisión  
Fuente: Elaboración propia

# **CAPITULO IV**

#### IV. RESULTADOS

El diseño del control automático y supervisión para mejorar el funcionamiento del sistema de bombeo de agua en sala de bombas de la Corte Superior de Justicia Trujillo – Natasha Alta nos arrojó los siguientes resultados:

1. Como se puede observar en la figura 4.1, se cuenta con las tres bombas del sistema de presión constante, así mismo, se puede observar el sensor de presión instalado y el manómetro.



Figura 4.1. Sensor y sistema de bombas  
Fuente: Elaboración propia

2. En la figura 4.2, se muestra uno de los tres variadores de velocidad, el cual pertenece a la bomba 1, en ella se puede notar que en ese momento la frecuencia de trabajo es de 30.4 Hz.



Figura 4.2. Variador de la bomba 1  
Fuente: Elaboración propia

3. El sistema de control automático se implementó con un PLC Siemens Logo el cual se muestra en la figura 4.3, el ella se puede observar el conexionado de acuerdo a la figura 3.2.



Figura 4.3. PLC del sistema de control  
Fuente: Elaboración propia

4. El sistema implementado cuenta con su tablero de control el cual se puso por nombre "TABLERO BOMBA DE AGUA" con tag T-BA, estos se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura 4.4. Tablero de Control del sistema de bombas  
Fuente: Elaboración propia

5. Se implementó un Scada en cual viene siendo ejecutado en una PC de escritorio ubicado en la oficina de mantenimiento, destinado a la supervisión del sistema de bombeo,

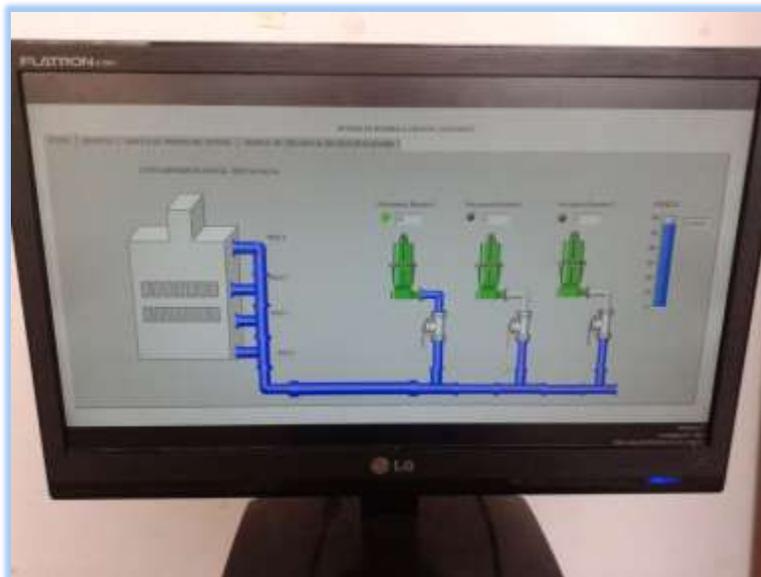


Figura 4.5. PC con Scada del sistema de supervisión  
Fuente: Elaboración propia

6. En las siguientes figuras se muestran capturas de los reportes de los tres modos de funcionamiento M1, M2 y M3, en ellos se puede observar la fecha, la hora, modo de operación, velocidades de las bombas de acuerdo a los modos de funcionamiento, lectura de la presión del sistema entre otros parámetros.

Fecha	Hora	Modo(*)	V1(m/s)	V2(m/s)	V3(m/s)	Alt(pie)	r(%)	Caudal(l/s)	Potencia(hp)
06/06/2018	7:00	Modo 1	30	30	0	36.28	75.9	7.2	0.3
06/06/2018	7:08	Modo 1	30	0	0	36.28	80.4	7.2	0.3
06/06/2018	7:07	Modo 1	30	0	0	36	80.4	7	0.3
06/06/2018	7:05	Modo 1	30	0	0	37.43	80	7.3	0.3
06/06/2018	7:03	Modo 1	30	0	0	36.56	80	7.3	0.3
06/06/2018	7:01	Modo 1	30	0	0	37.07	80	7.3	0.3

(\*)Modos de Funcionamiento:  
 Modo 1: V1=ON, V2=ON, V3=OFF  
 Modo 2: V1=OFF, V2=ON, V3=ON  
 Modo 3: V1=OFF, V2=ON, V3=OFF  
 V1 Bomba 1, V2 Bomba 2, V3 Bomba 3

Figura 4.6. Reporte de funcionamiento – Modo 1  
Fuente: Elaboración propia

Fecha	Hora	Modo(*)	V1(m/s)	V2(m/s)	V3(m/s)	Alt(pie)	r(%)	Caudal(l/s)	Potencia(hp)
06/06/2018	8:04	Modo 2	0	30	0	36.56	80	7.2	0.3
06/06/2018	8:08	Modo 2	0	30	0	37.43	80	7.3	0.3
06/06/2018	8:07	Modo 2	0	30	0	34.8	80.1	7.8	0.3
06/06/2018	8:05	Modo 2	0	30	0	37.4	80.4	7	0.3
06/06/2018	8:03	Modo 2	0	30	0	37.43	80	7.3	0.3
06/06/2018	8:01	Modo 2	0	30	0	36.56	80	7.3	0.3
06/06/2018	8:00	Modo 2	0	30	0	36	80.4	7	0.3

(\*)Modos de Funcionamiento:  
 Modo 1: V1=ON, V2=ON, V3=OFF  
 Modo 2: V1=OFF, V2=ON, V3=ON  
 Modo 3: V1=OFF, V2=ON, V3=OFF  
 V1 Bomba 1, V2 Bomba 2, V3 Bomba 3

Figura 4.7. Reporte de funcionamiento – Modo 2  
Fuente: Elaboración propia

Fecha	Hora	Modo(*)	V1(m/s)	V2(m/s)	V3(m/s)	Alt(pie)	r(%)	Caudal(l/s)	Potencia(hp)
06/06/2018	7:00	Modo 1	30	30	0	36.28	75.9	7.2	0.3
06/06/2018	7:08	Modo 1	30	0	0	36.28	80.4	7.2	0.3
06/06/2018	7:07	Modo 1	30	0	0	36	80.4	7	0.3
06/06/2018	7:05	Modo 1	30	0	0	37.43	80	7.3	0.3
06/06/2018	7:03	Modo 1	30	0	0	36.56	80	7.3	0.3
06/06/2018	7:01	Modo 1	30	0	0	37.07	80	7.3	0.3

(\*)Modos de Funcionamiento:  
 Modo 1: V1=ON, V2=ON, V3=OFF  
 Modo 2: V1=OFF, V2=ON, V3=ON  
 Modo 3: V1=OFF, V2=ON, V3=OFF  
 V1 Bomba 1, V2 Bomba 2, V3 Bomba 3

Figura 4.8. Reporte de funcionamiento – Modo 3  
Fuente: Elaboración propia

7. En el sistema de supervisión también se incluyó una pestaña en cual nos enlaza con una gráfica de la presión del sistema con respecto al tiempo, en ella se puede ver que la presión del sistema se mantiene en un rango de 55 a 65 psi, también, un cambio brusco en la presión el cual implica que hubo demanda de agua.

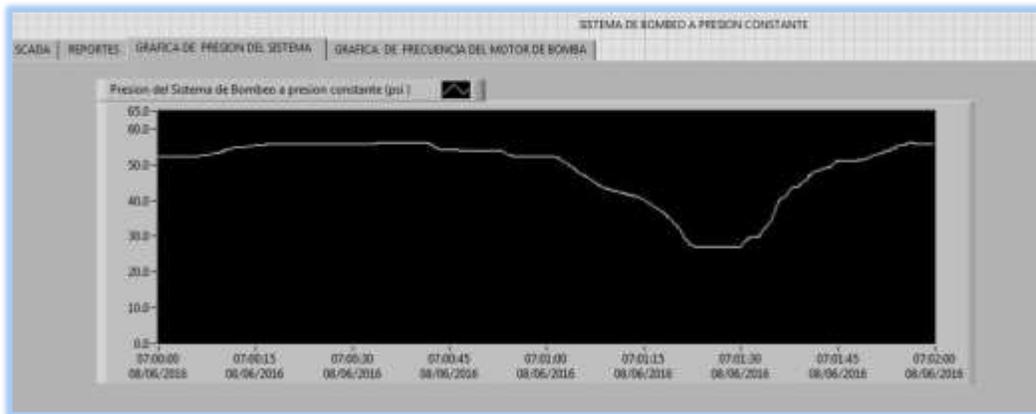


Figura 4.9. Presión del sistema  
Fuente: Elaboración propia

8. En el sistema de supervisión también se incluyó una pestaña en cual nos enlaza con una gráfica de la frecuencia de trabajo del variador en Hz con respecto al tiempo, en la figura se muestra el modo de operación 1, en el cual están activas las bombas 1 y 2.



Figura 4.10. Frecuencia de funcionamiento del variador  
Fuente: Elaboración propia

# **CAPITULO V**

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. Al haber implementado un sistema del control automático de presión constante para el sistema de bombeo de la Corte Superior de Justicia de Trujillo sede Natasha - Alta, ya no se depende de horarios de funcionamiento para la activación del sistema de bombeo, pues el sistema es controlado por el PLC, y este determinará las activación y conmutación de las bombas de acuerdo a la presión del sistema, el cual, es determinado por el sensor de presión, de esta manera se solucionó el problema de la falta de agua.
2. Al tener que encender y apagar el sistema de bombeo de agua en la Corte Superior de Justicia de acuerdo al horario de funcionamiento normal más la activación y desactivación del sistema de acuerdo a los constantes reclamos por falta de agua, no se tenía un encendido eficiente, por lo tanto, esto implicaba mantenimientos constantes de las bombas, pues esta problemática disolvió con el sistema implementado.
3. El Scada está conformado por las representaciones de las bombas y el estado en el que se encuentran (ON/OFF), también nos brinda la información de la presión del sistema así como un indicador de sobrepresión, también se muestra la velocidad a la que están operando las bombas, además existen tres “botones” en donde nos brindara información sobre un registro de funcionamiento de las bombas así como graficas de presión del sistema y la velocidad de cada una de las bombas; dichas gráficas son con respecto al tiempo.
4. Con el registro de funcionamiento se llevará a cabo un seguimiento del funcionamiento de las bombas de agua, para que se haga un plan de mantenimiento de las mismas, así mismo, se puede llevar un registro de la presión del sistema.

# **CAPITULO VI**

## **VI. CONCLUSIONES**

- Se estudió los diferentes sistemas de sistemas de presión constante, logrando tomar todos los datos necesarios para poder realizar el diseño y posterior implementación del sistema de control automático y supervisión para mejorar el funcionamiento del sistema de bombeo de agua de la Corte Superior de Justicia Trujillo - Natasha Alta.
- Tras el estudio y análisis comparativo de los sistemas de presión constante, se seleccionó los sistemas de arranque con variador de velocidad como el más idóneo.
- De los estudios realizados se logró identificar los diferentes componentes con los cuáles nuestro sistema propuesto e implementado funciona eficazmente.
- Se logró proponer una alternativa de sistema de control y monitoreo que cumpla con los requerimientos de la entidad pública para mejorar el sistema de bombeo de agua.
- Se diseñó he implementó el sistema propuesto, de esta manera se solucionaron los problemas que existían.

# **CAPITULO VII**

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Realizar un plan de mantenimiento preventivo de las bombas de presión constante de acuerdo a la información que se genera del reporte del Scada.
- Informar a los operadores, que la nueva implementación del sistema de control y supervisión es para mejoras tanto para ellos como para la entidad pública.
- Capacitar a los operadores con el nuevo sistema de supervisión, para que de esta manera puedan realizar un trabajo confiable y seguro.

# **CAPITULO VIII**

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvares Pulido, M. (2000), *Convertidor de Frecuencia, Controladores de Motores Y SSR*

Chavarría, L. (2007). *SCADA System´s & Telemetry. Atlantic International University.*

Martínez, L. (1998). *Introducción al PLC.*

Pallas Areny, R. (2003), *Sensores y Acondicionadores de Señal*

Rodríguez, P. (2007), *Sistemas SCADA (2º ed.)*. Barcelona: MARCAMBO.

Zubicaray, V. (2000), *Bombas (Teoría, Diseño y Aplicaciones)*

TFB – Flyft S.A. (2004), *Bombas Sumergibles y Estaciones de Bombeo*. Madrid

### **Tesis**

Abonza, J. (2007), *Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos para el Ahorro de Energía Eléctrica*, Instituto Politécnico Nacional, México

Pesantes, A. (2012), *Diseño y Construcción de un Módulo de Laboratorio con variador de frecuencia para el Control de un Sistema de Bombeo y Determinación del Ahorro Energético*, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Paredes, Y. (2014), *Diseño e Implementación de un Módulo demostrativo de Control por Variadores de Velocidad para Sistemas de presión constante motobombas*, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Saavedra, J. (2007), *Control de Presión de Agua mediante variadores de frecuencia y motobombas*, Universidad de Magallanes.

## **Enlaces Web**

Schneider Electric. (2016). *Variadores de velocidad, arrancadores electrónicos y motores*. Recuperado de [http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo04\\_1907.pdf](http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo04_1907.pdf)

Topologías de Sistemas Scada. Recuperado de <http://www.moxa.com>

# **ANEXOS**

## ANEXOS:

Anexo 1: Horario de encendido y apagado del sistema de bombeo

<b>Semana 1</b>		
<b>Días</b>	<b>Turno Mañana</b>	<b>Turno Tarde</b>
	<b>Hora de encendido</b>	<b>Hora de encendido</b>
Lunes		
Martes		
Miércoles		
Jueves		
Viernes		

<b>Semana 2</b>		
<b>Días</b>	<b>Turno Mañana</b>	<b>Turno Tarde</b>
	<b>Hora de encendido</b>	<b>Hora de encendido</b>
Lunes		
Martes		
Miércoles		
Jueves		
Viernes		

<b>Semana 3</b>		
<b>Días</b>	<b>Turno Mañana</b>	<b>Turno Tarde</b>
	<b>Hora de encendido</b>	<b>Hora de encendido</b>
Lunes		
Martes		
Miércoles		
Jueves		
Viernes		

<b>Semana 4</b>		
<b>Días</b>	<b>Turno Mañana</b>	<b>Turno Tarde</b>
	<b>Hora de encendido</b>	<b>Hora de encendido</b>
Lunes		
Martes		
Miércoles		
Jueves		
Viernes		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Encuesta área de mantenimiento 1

<b>1. DATOS GENERALES (Información de la Organización)</b>
<b>1.1. Nombre completo de la Empresa u Organización:</b> Corte Superior de Justicia de Trujillo, Sede Natasha Alta
<b>1.2. Nombre de la persona encuestada:</b>
<b>2. ¿Por qué motivos son ocasionados los reclamos del personal de la Corte?</b>
<b>3. ¿Con que frecuencia se realizan los reclamos?</b>
<b>4. ¿De qué niveles del edificio existen más reclamos?</b>
<b>5. ¿En qué horas del día son más frecuentes los reclamos?</b>
<b>6. ¿A través de que medio llegan los reclamos?</b>
<b>7. ¿Cuál es el uso que le dan al agua?</b>

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Encuesta área de mantenimiento 2

<b>1. DATOS GENERALES (Información de la Organización)</b>
<b>1.1. Nombre completo de la Empresa u Organización:</b> Corte Superior de Justicia de Trujillo, Sede Natasha Alta
<b>1.2. Nombre de la persona encuestada:</b>
<b>2. ¿Qué tipo de encendido cuenta el sistema de bombeo de agua potable?</b>
<b>3. ¿Cuántos equipos cuenta el sistema de bombeo de agua potable?</b>
<b>4. ¿El sistema de bombeo de agua potable con que instrumentación mide la presión de agua potable?</b>
<b>5. ¿El tablero de control, que instrumentación contiene para el respectivo funcionamiento?</b>
<b>6. ¿El sistema de bombeo de agua potable, cuenta con un tanque de reserva?</b>
<b>7. ¿Con que frecuencia se enciende el sistema de bombeo de agua?</b>
<b>8. ¿Existe un registro de funcionamiento de las bombas de agua?</b>

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 4: Especificaciones de equipos – Llave Termomagnética



### Interruptores automáticos de carril 3VT1 hasta 160 A

#### Interruptores automáticos · Interruptores-seccionadores

#### Síntesis

##### *Interruptores automáticos*

##### Interruptores automáticos, versión de 3 polos

La versión de 3 polos de los interruptores automáticos consta de:

- 2 juegos de conexión para la conexión de cables de cobre o aluminio<sup>1)</sup> con secciones de 2,5 ... 95 mm<sup>2</sup> (estos bornes se encuentran colocados en el interruptor automático)
- placas separadoras de fases 3VT9 100-8CE30
- un conjunto de dos pernos de montaje (M3 x 30)
- un soporte de conductores

Característica M (motor): protección del motor

##### Interruptores automáticos, versión de 4 polos

La versión de 4 polos de los interruptores automáticos consta de:

- dos juegos de conexión para la conexión de cables de cobre o aluminio<sup>1)</sup> con secciones de 2,5 ... 95 mm<sup>2</sup> (estos bornes se encuentran colocados en el interruptor automático)
- placas separadoras de fases 3VT9 100-8CE30 y 3VT9 100-8CE00
- dos conjuntos de dos pernos de montaje (M3 x 30)
- un soporte de conductores (instalado en el interruptor automático)

Disparadores:

Curva de protección de distribución L

- protección de distribución con baja corriente de arranque
- sin regulación de  $I_r$

Curva de protección de distribución D

- protección de distribuciones y transformadores

Característica N (sólo disparador de cortocircuito)

- sin regulación de  $I_r$

##### *Interruptores-seccionadores*

##### Interruptores-seccionadores, versión de 3 polos

La versión de 3 polos de los interruptores-seccionadores consta de:

- 2 juegos de conexión para la conexión de cables de cobre o aluminio<sup>1)</sup> con secciones de 2,5 ... 95 mm<sup>2</sup> (estos bornes se encuentran colocados en el interruptor-seccionador)
- placas separadoras de fases 3VT9 100-8CE30
- un conjunto de dos pernos de montaje (M3 x 30)
- un soporte de conductores

##### Interruptores-seccionadores, versión de 4 polos

La versión de 4 polos de los interruptores-seccionadores consta de:

- dos juegos de conexión para la conexión de cables de cobre o aluminio<sup>1)</sup> con secciones de 2,5 ... 95 mm<sup>2</sup> (estos bornes se encuentran colocados en el interruptor-seccionador)
- placas separadoras de fases 3VT9 100-8CE30 y 3VT9 100-8CE00
- dos conjuntos de dos pernos de montaje (M3 x 30)
- soporte de conductores (instalado en el interruptor-seccionador)

##### *Conexión*

Al conectar el circuito principal, es preciso respetar las dimensiones del espacio de desionización del interruptor automático, en función del tipo de conexión

(ver páginas 2/35 y 2/36).

<sup>1)</sup> Para otros métodos de conexión, utilice piezas de conexión. (ver pág. 2/9).

Anexo 5: Especificaciones de equipos – Variador de velocidad

Clase de voltaje		Clase 230V							
Número de modelo VFD-XXE		002	004	007	015	022	037	055	075
Máxima Salida aplicable del motor (kW)		0.2	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	5.5	7.5
Máxima salida aplicable del motor (hp)		0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	7.5	10
Salida nominal	Capacidad nominal de salida (kVA)	0.6	1.0	1.6	2.9	4.2	6.5	9.5	12.5
	Corriente nominal de salida (A)	1.6	2.5	4.2	7.5	11.0	17	25	33
	Salida máxima de voltaje (V)	Trifásico proporcional al voltaje de entrada							
	Frecuencia de salida (Hz)	0.1~600 Hz							
	Frecuencia de portadora (kHz)	1-15							
Entrada nominal	Corriente nominal de entrada (A)	Monofásico/trifásico				Trifásico			
		4.9/1.9	6.5/2.7	9.5/5.1	15.7/9	24/15	20.6	26	34
	Frecuencia/voltaje nominal	Monofásico/trifásico 200-240 V, 50/60Hz				Trifásico 200-240V, 50/60Hz			
	Tolerancia de voltaje	± 10%(180~264 V)							
	Tolerancia de frecuencia	± 5%(47~63 Hz)							
Método de enfriamiento		Enfriamiento natural			Enfriamiento por ventilador				
Peso (kg)		1.1	1.1	1.1	*1.2/1.9	1.9	1.9	3.5	3.5

Especificaciones generales			
Características de control	Sistema de control	SPWM (Modulación por ancho de pulso sinusoidal) control (V/f o control vectorial sin sensor)	
	Resolución de ajuste de frecuencia	0.01Hz	
	Resolución de frecuencia de salida	0.01Hz	
	Características del torque	Incluyendo la compensación de auto torque/auto deslizamiento, el torque de arranque puede ser de 150% a 3.0 Hz.	
	Resistencia a la sobrecarga	150% de la corriente nominal por 1 minuto	
	Frecuencia de omisión	Tres zonas, rango de ajuste de 0.1-600 Hz.	
	Tiempo para Aceleración/Desaceleración	De 0.1 a 600 seg (2 ajustes independientes para el tiempo de acel/decel)	
	Nivel de prevención de paralización	Ajuste de 20 a 250% de corriente nominal	
	Freno en DC	Frecuencia de operación de 0.1 a 600 Hz, salida de 0 a 100% de la corriente nominal Tiempo de arranque 0-60 seg, tiempo de Parada 0-60 seg	
	Torque de frenado regenerado	Aprox. 20% (hasta 125% posible con resistor de freno opcional o unidad de freno montado externamente, los modelos de 1-15hp (0.75-11kW) tienen chopper de frenado incorporado)	
Patrón V/f		Patrón V/f ajustable	
Características de operación	Ajuste de frecuencia	Teclado	Ajustado por ▲ ▼
		Señal externa	Potenciometro-5kΩ/0.5W, 0 a +10VDC, 4 a 20mA, interfaz RS-485; entradas de funciones múltiples 3 a 9 (15 pasos, jog, arriba/abajo)
	Señal de ajuste de operación	Teclado	Fijado por RUN y STOP
		Señal externa	2 cables/3 cables (MI1, MI2, MI3), operación JOG (avance) interfaz serial RS-485 (MODBUS), controlador lógico programable.
Señal de entrada de función múltiple		Selección de pasos múltiples de 0 a 15, avance, inhibición de acel/decel, 2 interruptores de acel/decel, contador, bloque de base externa, selecciones ACI/AVI, ajustes de tecla UP/DOWN, selección de entrada NPN/PNP	

Especificaciones generales		
Indicación para salida de función múltiple	Operación de variador AC, frecuencia lograda, velocidad de cero, bloque base, indicación de falla, alarma de sobrecalentamiento, parada de emergencia y selecciones de estatus de terminales de entrada.	
Señal de salida analógica	Corriente/frecuencia de salida	
Contacto de salida de alarma	El contacto será cuando la unidad disfunciones (1 Forma C / cambio de contacto y 1 de salida de colector abierto) de tipo estándar)	
Funciones de Operación	Construido en el PLC, AVR, aceleración / decel S-Curva, over-voltage/ over-current stand de prevención, 5 Registros por defecto, inversión de la inhibición, pérdida momentánea de poder reiniciar, DC frenado, torque automático / slip indemnización, auto tuning, ajustable porteador Frecuencia, los límites de la frecuencia de salida, el parámetro de bloqueo / reset, control de vectores, control PID, contador externo, MODBUS comunicación, restablecer anormal, alteración de volver a empezar, de ahorro de energía, control de ventilador, dormir / despertar frecuencia, la frecuencia 1st/2nd fuente selecciones, 1st/2nd frecuencia fuente combinación, NPN / PNP selección	
Funciones de Protección	Sobre Voltaje, Sobre Corriente, Bajo Voltaje, fallas externas, sobrecarga, fallo de tierra, Sobre Calentamiento, electrónica térmica, IGBT corto circuito, PTC	
Muestra la Teclado numérico (opcional)	6 teclas, LEDs de 7 segmentos y 4 Dígitos, LEDs de 5 estados, Maestro de frecuencia, Frecuencia de Salida, Salida de Corriente, corriente de salida, unidades personalizadas, valores de los parámetros de configuración y de bloqueo, fallos, RUN, STOP, RESET, FWD / REV, PLC	
Built-in EMI filtro	Para Modelos de 230V Monofasicos y Trifasicos 460V.	
Condiciones ambientales	Apéndice Calificación	IP20
	Nivel de Contaminación	2
	Ubicación de instalación	Altitud 1000 m o menos, de mantener los gases corrosivos, líquidos y polvo
	Temperatura ambiente	-10°C a 50°C (40oC de lado a lado de montaje) Sin condensación y no congelados
	Almacenaje / Temperatura del Transportación	-20 °C a 60 °C
	Temperatura Humedad	Abajo 90% RH (sin condensación)
	Vibración	9.80665m/s <sup>2</sup> (1G) menor a 20Hz, 5.88m/s <sup>2</sup> (0.6G) en el 20 a 50 Hz
Aprobaciones		

Anexo 6: Especificaciones de equipos – PLC Logo

	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RCo	LOGO! DM8 12/24R
<b>Fuente de alimentación</b>		
Tensión de entrada	12/24 V c.c.	12/24 V c.c.
Rango admisible	10,8 ... 28,8 V c.c.	10,8 ... 28,8 V c.c.
Protección contra inversión de polaridad	sí	sí
Consumo de corriente		
• 12 V c.c.	30 ... 140 mA	30 ... 140 mA
• 24 V c.c.	20 ... 75 mA	20 ... 75 mA
Compensación de fallos de tensión		
• 12 V c.c.	típ. 2 ms	típ. 2 ms
• 24 V c.c.	típ. 5 ms	típ. 5 ms
Potencia disipada		
• 12 V c.c.	0,3 ... 1,7 W	0,3 ... 1,7 W
• 24 V c.c.	0,4 ... 1,8 W	0,4 ... 1,8 W
Respaldo del reloj a 25 °C	típ. 80 h	
Precisión del reloj de tiempo real	máx. 2 s / día	
Separación galvánica	no	no
<b>Entradas digitales</b>		
Cantidad	8	4
Separación galvánica	no	no
Tensión de entrada L+		
• señal 0	<5 V c.c.	<5 V c.c.
• señal 1	>8 V c.c.	>8 V c.c.

	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RCo	LOGO! DM8 12/24R
Intensidad de entrada para <ul style="list-style-type: none"> <li>• señal 0</li> <li>• señal 1</li> </ul>	< 1, 0 mA (I1...I6) < 0,05 mA (I7, I8) > 1,5 mA (I1...I6) > 0,1 mA (I7, I8)	<1,0 mA >1,5 mA
Tiempo de retardo para <ul style="list-style-type: none"> <li>• cambio de 0 a 1</li> <li>• cambio de 1 a 0</li> </ul>	tip. 1,5 ms <1,0 ms (I5,I6) tip. 300 ms (I7,I8) tip. 1,5 ms <1,0 ms (I5,I6) tip. 300 ms (I7,I8)	tip. 1,5 ms tip. 1,5 ms
Longitud del conductor (sin blindaje)	100 m	100 m
<b>Entradas analógicas</b>		
Cantidad	2 (I7, I8)	
Margen	0 ... 10 V DC Impedancia de entrada 76 kΩ	
Tensión de entrada máx.	28,8 V CC	
Longitud del conductor (trenzado y apantallado).	10m	
<b>Salidas digitales</b>		
Cantidad	4	4
Tipo de las salidas	Salidas a relé	Salidas a relé
Separación galvánica	sí	sí
En grupos de	1	1
Activación de una entrada digital	sí	sí
Tensión de salida		
Intensidad de salida		
Corriente constante $I_{th}$ (por cada borne)	máx. 10 A por relé	máx. 5 A por relé

	<b>LOGO! 12/24RC</b> <b>LOGO! 12/24RC<sub>o</sub></b>	<b>LOGO! DM8</b> <b>12/24R</b>
Carga de lámparas incandescentes (25.000 maniobras) en caso de	1.000 W	1.000 W
Tubos fluorescentes con dispositivo previo electr. (25.000 histérisis)	10 x 58 W	10 x 58 W
Tubos fluorescentes compensados convencionalmente (25.000 maniobras)	1 x 58 W	1 x 58 W
Tubos fluorescentes no compensados (25.000 maniobras)	10 x 58 W	10 x 58 W
A prueba de cortocircuitos y sobrecarga		
Limitación de corriente en cortocircuitos		
Derating	Ninguno; en todo el margen de temperatura	Ninguno; en todo el margen de temperatura
Resistencia a cortocircuitos cos 1	Contactador potencia B16 600 A	Contactador potencia B16 600 A
Resistencia a cortocircuitos cos 0,5 a 0,7	Contactador potencia B16 900 A	Contactador potencia B16 900 A
Conexión de las salidas en paralelo para aumentar la potencia	no admisible	no admisible
Protección de un relé de salida (si se desea)	máx. 16 A, característica B16	máx. 16 A, característica B16
<b>Frecuencia de conmutación</b>		
Mecánica	10 Hz	10 Hz
Eléctrica		
Carga óhmica/carga de lámparas	2 Hz	2 Hz
Carga inductiva	0,5 Hz	0,5 Hz

## Anexo 7: Especificaciones de equipos –Sensor de Presión

**Product data sheet**  
Characteristics

### XMLP010BC71V

pressure transmitter - XMLP - 10bars - G1/4A  
male - 0..10V - DIN - set of 1

---



**Main**

Range of product	OsiSense XM
Product or component type	Electronic pressure sensors
Pressure sensor type	Pressure transmitter
Pressure sensor name	XMLP
Electrical circuit type	Control circuit
Pressure sensor size	10 bar
Local display	Without
Controlled fluid	Refrigeration fluid -20...120 °C Gas -20...120 °C Hydraulic oil -20...120 °C Fresh water 0...120 °C Air -20...120 °C
Fluid connection type	G 1/4A (male) conforming to DIN 3852-E
Electrical connection	1 male connector EN 175301-803-A (ex DIN43650) 3 pins
[Us] rated supply voltage	24 V DC, voltage limits: 14...30 V
Current consumption	< 10 mA
Type of output signal	Analogue
Analogue output function	0...10 V, 3-wire
Quantity per set	Set of 1
Type of packing	Individual

## Anexo 8: Especificaciones de equipos –bombas

