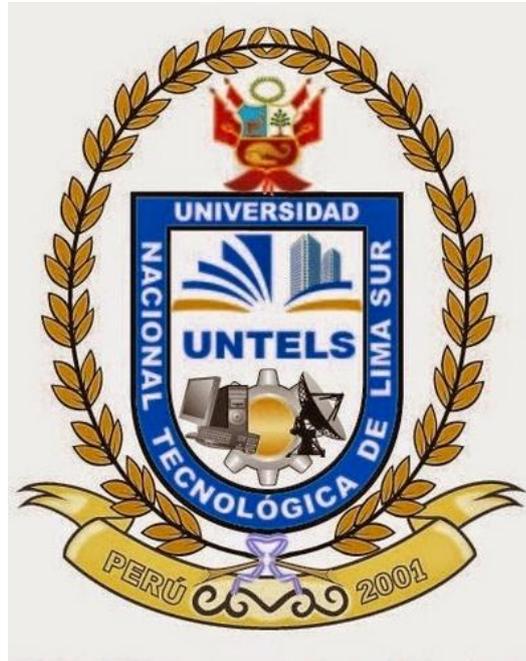


UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR
FACULTAD DE ING. MECANICA, ELECTRONICA Y AMBIENTAL



INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

IMPLEMENTACION DEL PLC LOGO SOFT SIEMENS A UN SISTEMA DE
BOMBEO DE AGUA

TEMA DE INVESTIGACION PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERIO

PRESENTADO POR EL BACHILLER

LUIS ALFREDO AMADO LAMA

ASESORADO POR:

ING. MARTIN GONZALES BUSTAMANTE

Villa El Salvador

2015

DEDICATORIA

A mis Padres y a mi Universidad UNTELS

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis Padres por apoyarme en todo momento de mi vida y a la vida para poder seguir con mis metas

INDICE

CAPITULO 1. Problema, Justificación y Objetivos de la Investigación	1
1.1 Descripción de la Realidad Problemática	1
1.2 Justificación de la Investigación.....	2
. Delimitación de la Investigación	3
1.3.1 Conceptual.	3
1.3.2 Espacial.....	3
1.3.2 Temporal	3
1.4. Formulación del Problema general	3
1.4.1. Problemas específicos	4
1.5. Objetivos	4
1.5.1 Objetivos Específicos	4
CAPITULO II. Marco de Referencia Teórico y Conceptual.....	5
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	5
2.2. Marco Teórico	6
2.2.1. Funcionamiento del sistema actual	6
2.2.2. Funcionamiento del sistema propuesto	7
2.3. Marco Conceptual (Definición de términos básicos).....	7
CAPITULO III. DESARROLLO DE LA Metodología.....	51
3.1. Análisis del Modelo o Caso	51
3.2. Construcción del Modelo Mejorado	52
3.3. Comparación de los Hallazgos	76
3.4. Interpretación de resultados	77
<i>PRUEBAS LÓGICAS O DE PROGRAMA</i>	80
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	87
Bibliografía	89
ANEXOS.....	90
ANEXO A.....	91
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS BOMBAS	91
ANEXO B.....	100
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PLC LOGO	100

ANEXO C.....	107
CARACTERÍSTICAS DE LOS VARIADORES.....	107
ANEXO D.....	112
CARACTERÍSTICAS DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN	112
ANEXO E	117
DIAGRAMAS DE CONEXION.....	117

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Densidad de agua como función de la presión y la temperatura...	11
Figura 2.2 Curva de presión en el interior de la bomba.....	14
Figura 2.3 Formación de burbujas en la cavitación.....	17
Figura 2.4 Respuesta QH en cavitación.....	17
Figura 2.5. Curva total del Sistema.....	19
Figura 2.6. Estructura de una bomba centrífuga.....	20
Figura 2.7. Tipo de Bombas centrífugas.....	21
Figura 2.8. Curvas de Rendimiento para bomba centrífuga.....	22
Figura 2.9. Curvas de rendimiento para varios diámetros de impeller.....	22
Figura 2.10. Curva teórica QH.....	23
Figura 2.11. Curva Típica QH. Caudales pequeños permiten alcanzar grandes alturas. Caudales grandes permiten menores alturas.....	24
Figura 2.12. Curva de Rendimiento.....	25
Figura 2.13. Curva típica de Consumo para bomba centrífuga.....	25
Figura 2.14. NPSH en función del caudal.....	26
Figura 2.15. Punto de operación de la bomba.....	27
Figura 2.16. Punto de operación vs rendimiento.....	28
Figura 2.17. Control por estrangulamiento.....	29
Figura 2.18. Control por cambio del diámetro del impulsor.....	30
Figura 2.19. Características del sistema según las leyes de afinidad.....	32
Figura 2.20. Curvas de rendimiento de la bomba al variar la velocidad.....	33
Figura 2.21. Consumo Energético VFD vs Válvulas de estrangulamiento....	34
Figura 2.22. Comparación de la potencia de entrada.....	35
Figura 2.23. Bombas Conectadas en Serie.....	36
Figura 2.24. Curva de Sistema y de rendimiento en conexión en serie.....	37
Figura 2.25. Bombas en Paralelo.....	38
Figura 2.26. Curvas QH en paralelo.....	38
Figura 2.27. Curva QH en paralelo y curva de sistema.....	39
Figura 2.28. Variador Micromaster 440.....	42
Figura 2.29. Bornes de Potencia del variador.....	43

Figura 2.30. Bornes de mando.....	45
Figura 2.31. PLC Logo y accesorios.....	46
Figura 2.32. Modo de funcionamiento del transmisor.....	47
Figura 2.33. Esquema de conexión con salida de corriente de acuerdo a EN175301.....	47
Figura 2.34. Transmisor de presión Siemens.....	48
Figura 2.35. Liqtec.....	49
Figura 3.1. Sistema de presión constante.....	52
Figura 3.2. Corriente de salida en función de la temperatura.....	54
Figura 3.3 Corriente en función de la altura sobre el nivel del mar.....	55
Figura 3.4 Módulos E/S PLC.....	58
Figura 3.5 Conexión de Entradas Digitales al PLC.....	62
Figura 3.6. Interfaz de Operación LOGO TD.....	63
Figura 3.7. Conexión Transmisor – Variadores –PLC.....	64
Figura 3.8. Entorno de Programación Logosof.....	66
Figura 3.9. Cable de Programación Logo USB.....	67
Figura 3.10. PLC Logo y varios módulos.....	69
Figura 3.11. Proceso de conversión Análoga Digital del Logo.....	71
Figura 3.12. Configuración Valor analógico del transmisor.....	72
Figura 3.13. Diagrama de Flujo PLC.....	74
Figura 3.14. Activación de Bomba Auxiliar.....	75
Figura 3.15. Parte del programa implementado en el PLC.....	76
Figura 3.16 Conexión Eléctrica Motor Bomba.....	79
Figura 3.17. Simulación PLC.....	82
Figura 3.18. Respuesta escalón del variador 1.....	84
Figura 3.19. Respuesta Escalón Sistema.....	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Unidades de Presión.....	8
Tabla 2.2. Conversión de unidades de Presión.....	8
Tabla 2.3. Funciones de los bornes de potencia del variador.....	43
Tabla 2.4 Funciones de los Bornes de control.....	44
Tabla 3.1. Características eléctricas de las bombas.....	53
Tabla 3.2. Especificaciones Técnicas de Variadores Micromaster 440.....	55
Tabla 3.3. Características técnicas de Variador Micromaster 440.....	56
Tabla 3.4. Distribución de E/S D/A en el sistema.....	59
Tabla 3.5. Características técnicas LOGO.....	60
Tabla 3.6. Características Módulo de entradas analógicas.....	61
Tabla 3.7. Conexiones Variador.....	64
Tabla 3.9. Características Principales del Transmisor de Presión.....	65
Tabla 3.10. Conectores del PLC Logo.....	68
Tabla 3.11. Mapa de Entradas/Salidas Digitales/Análogas del PLC.....	70
Tabla 3.12. Tabla de Observación del PLC.....	81
Tabla 3.13 Tabla de observación realizada en Starter.....	83

INTRODUCCION

El presente trabajo está centrado en la mejora del funcionamiento del sistema de bombeo de agua que la empresa V-Tech S.A.C instala a sus clientes que por lo general son edificios y residencias familiares.

La mejora que se implementa es la instalación del PLC Logo Soft SIEMENS que va a hacer el ser cerebro de todo el sistema, el PLC contará con una programación de horas de trabajos de las bombas y mantendrá la presión constante a la demanda del caudal que se requiera

Para cumplir con dicho objetivo se diseña un tablero de control de presión constante integrada por variadores de frecuencia y un PLC Logo. Los variadores realizan la regulación de la velocidad de las bombas para mantener la presión de abastecimiento constante. Ésta variable es medida a través de un transmisor de presión instalado, en el punto de salida del líquido.

El PLC está encargado de coordinar el funcionamiento de los variadores de tal manera que exista una o dos bombas líderes y otra auxiliar. En los momentos de gran demanda de líquido, la bomba auxiliar debe integrarse inmediatamente al sistema para mantener la presión constante. Adicionalmente el PLC recibe señales que vigilan el funcionamiento adecuado de las bombas.

La estructura que hemos seguido en este proyecto se compone de 3 capítulos. El primer capítulo comprende el planteamiento del problema, el segundo capítulo del desarrollo del marco teórico y el tercer capítulo corresponde al desarrollo del proyecto (trabajo, caso y proyecto de negocios)

CAPITULO 1. Problema, Justificación y Objetivos de la Investigación

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

La realidad de los sistemas de bombeo de agua instalados a nuestros clientes no mantiene la presión constante, se debe a que el sistema necesita un cerebro que comande los tiempos de funcionamiento de las bombas y que no funcionen a la vez cuando no lo ameritan, en estos tiempos se requieren parámetros de control, por lo que este descontrol con llevan a un consumo eléctrico alto y a gastos en mantenimiento que se pueden evitar

El sistema tiene como comandante al variador de frecuencia que arranca, frena aumenta y disminuya la velocidad del motor de la bomba de agua de acuerdo a lo requiera, esta es interpretada por el transductor de presión, en circunstancias cuando la demanda es mínima los motores no pueden disminuir más su velocidad para atender porque se frenan y se tendría que reiniciar el sistema para que vuelva a funcionar. Para evitar este inconveniente el variador no se preocupa más por mantener la presión si es que la deja decaer un margen para de nuevo volver a entrar en funcionamiento

1.2 Justificación de la Investigación

El agua es un recurso de gran importancia para el hombre y puesto que de este depende muchos procesos productivos y es esencial para la salud humana y por ende para la vida, sin olvidar que es un recurso escaso, se vuelve necesario su uso racional. Esto implica un cambio en la visión del usuario que lleve a valorar el agua como un recurso finito que puede agotarse y considere que disponer de agua apta para consumo humano implica un costo económico y ambiental

En el mundo entero, se ejercen grandes ciudades con edificios inmensos es por ello la necesidad de la distribución del agua es crucial a las grandes edificaciones, es cuando se ve la necesidad de tener sistemas de bombeo de agua inteligentes que sepan “predecir y abastecer”.

En la actualidad ya se cuenta con estos sistemas, donde la presión del agua en la tubería de abastecimiento es una de las principales exigencias de los clientes en hoteles, condominios y fábricas que requieren agua en sus procesos. Los sistemas de control de presión por presostato NO pueden garantizar la presión constante del líquido y presentan desgaste en los motores de las bombas y altas facturas eléctricas por los continuos arranques y paros.

El sistema de bombeo de agua que instala mi representada V-tech S.A.C. no cumple con la presión constante que se desea, es cuando aprovechamos la información de sistemas de control automáticos hemos desarrollado un sistema de control integral para el bombeo de agua a presión constante con el variador de frecuencia y un controlador inteligente programable

El costo de la implementación del PLC en contra de los gastos por el consumo eléctrico y mantenimiento de las bombas resulta ser rentable para el sistema. Este costo asciende a la 600.00 S/. Que por el ahorro energético y en mantenimiento se ve recuperado rápidamente

. Delimitación de la Investigación

1.3.1 Conceptual.

En la importancia de concepto que se define esta investigación en la parte operativa de este sistema de control, tener una programación adecuada del funcionamiento de las bombas obteniendo una optimización del agua, ahorrando energía eléctrica y alargando el tiempo de vida de los motores

1.3.2 Espacial

La implementación del PLC LOGO SOFT SIEMENS al sistema de bombeo de agua se hizo en el proyecto al edificio multifamiliar que está ubicado en el distrito de Miraflores en la calle Jose Gonzalez 494

1.3.2 Temporal

El nuevo sistema se desarrolló en el mes de octubre del 2013 en el edificio multifamiliar de 4 pisos, el proyecto contaba con la implementación de 2 bombas conectadas en paralelo

1.4. Formulación del Problema general

El problema del sistema es que no mantiene una presión constante y cuando esta incidencia es reiterativa quiere decir que hay un error o el sistema incompleto. El funcionamiento esencial es que el variador comanda la velocidad de las bombas y lo hace de acuerdo a la variación de presión indicada por el transmisor.

El caso cuando la depresión es mínima el variador comanda a las bombas para que esta se atendida es ahí donde las bombas a disminuir su velocidad no logran vencer el peso del agua y por ello se produce el frenado en las bombas, muy aparte de ello es que las bombas trabajan en conjunto y no uno a la vez o las dos juntas cuando lo requieran

1.4.1. Problemas específicos

El frenado de la bombas producen un desgaste en las partes mecánicas y eléctricas de las bombas, esto también con lleva al reinicio del sistema, por ello tiene que intervenir un tercero para que apague y vuelva a encender el sistema

1.5. Objetivos

Los objetivos que se debe satisfacer con la implementación de PLC deben cumplir con el orden y control del sistema

1.5.1 Objetivos Específicos

En los objetivos específicos tenemos:

- 1 Logra tener un sistema programado y configurado que permite mantener la presión constante para el consumo de agua de nuestros clientes. Con un tiempo de recuperación a su demanda
- 2 Alternancia y eficiencia en las bombas
- 3 En casos de falla se debe tener un plan de contingencia momentáneo
- 4 Detectar cualquier cambio eléctrico que pueda perjudicar el sistema
- 5 Evitar el frenado de las bombas
- 6 El sistema indique el estado de sus componentes en el interfaz del PLC

CAPITULO II. Marco de Referencia Teórico y Conceptual

2.1. Antecedentes de la Investigación.

En los sistemas de bombeo de agua como antecesores tenemos:

El sistema de bombeo tanque-tanque donde existen dos tanques uno se encuentra en la azotea parte superior del edificio que en conexión con este descenderá una tubería vertical de ramificación a los apartamentos del mismo dándose de esta forma el suministro por gravedad. En la parte inferior de la edificación está el segundo tanque, el cual puede ser superficial, semisubterráneo o subterráneo y en donde se almacena el agua que proviene de la red pública. Desde este tanque se conecta por lo general dos bombas en paralelo que conectan con el tanque elevado

El funcionamiento de este sistema consiste que el agua que proviene de la red pública se almacena en el tanque inferior se llena hasta un nivel máximo que lo da la altura de la válvula de abastecimiento que contiene una boya que cierra la válvula cuando está a nivel máximo, en este tanque también se instala la tuberías de succión de las bombas con sus válvulas de pies y una boya que manda una señal eléctrica que indica los niveles de agua. En el tanque elevado que se encuentra conectado con la tubería de impulsión en este tanque va instalado una boya que manda una señal eléctrica indicados niveles de agua al tablero donde permite cerrar contacto para que las bombas entre en funcionamiento y comience a llenar al tanque elevado

El sistema hidroneumático se basa su funcionamiento en el principio de compresibilidad o elasticidad del aire cuando es sometido a presión, el agua que es suministrada del acueducto público es almacenada en un tanque subterráneo, de donde a través de una sistema de bombas será impulsada a un recipiente de 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.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Funcionamiento del sistema actual

El sistema está conformado por las bombas centrifugas, el variador de frecuencia, transductor de presión, las válvulas compuertas, unidireccionales y de pie

El funcionamiento es que el variador de frecuencia recibe una señal eléctrica del transductor de presión indicándole el nivel de presión del agua en las tuberías, entonces es ahí cuando el variador cambia la frecuencia y el voltaje a la entrada de energía de los motores de las bombas y con ello satisfacer la demanda, pero de muy pocas veces mantener la presión en el momento de consumo. En situaciones que cuando la demanda es pequeña el variador de frecuencia disminuye la velocidad de las bombas que conformen al sistema de bombeo, en la mayoría de los casos la velocidad se disminuye tanto que ocasiona un frenado de la bomba y un reinicio del sistema

Las bombas centrifugas son el alma del sistema que conectadas en paralelo bombean el agua gracias al rodete o impulsor que con un movimiento rotacional ayudan a impulsar el agua, es por ello que se desea aprovechar de manera eficiente la capacidad de las bombas

2.2.2. Funcionamiento del sistema propuesto

El propuesto tiene la implementación del PLC en el bombeo de agua mantenga una presión constante ante la demanda, dando horario de trabajo a las bombas que trabajen de amañera alternada o de manera conjunta si así lo requieren, con esto se obtiene que la bombas no trabajen en conjunto cuando no se exige y con ello se obtiene un ahorro de energía, evitar problemas de frenado y desgastes de los bombas

El nuevo sistema con todos los elementos que lo componen asciende a un valor monetario en este proyecto de 20.000 S. / incluyendo costo de equipos e instalación. El tiempo de instalación fue el de 2 semanas con pruebas

2.3. Marco Conceptual (Definición de términos básicos).

PRESIÓN

Es la fuerza normal ejercida por un peso sobre una superficie determinada:

$$P = \frac{\text{Peso en Kilogramos}}{\text{Superficie en cm}^2} \quad \text{Ecu. 2.1}$$

Llamamos Presión Hidrostática a la presión que se ejerce en un punto cualquiera de un líquido debido al propio peso de este.

Los sistemas hidráulicos aplican un principio según el cual, la presión aplicada a un líquido contenido en un recipiente, se transmite con la misma intensidad a cualquier otro punto del líquido (Principio de Pascal).

Unidad	Abreviación	Equivalencia a 1 atm	Usos
Pascal	Pa	101,3 kPa	SI; 1 Pa = 1 N/m ²
Atmosferas	atm	1 atm	general
milímetros de mercurio	mm Hg	760 mm Hg	Presión barométrica y gases
pulgadas de mercurio	in	29,92 in	Presión barométrica US.
libras por pulgada cuadrada	psi	14,7 psi	Ingeniería e Industria

Tabla 2.1. Unidades de Presión¹.

TABLA DE EQUIVALENCIAS ENTRE UNIDADES DE PRESION						
	Pa	bar	atm*	at**	mH ₂ O	mmHg
1 Pa = 1 N/m²	1	10 ⁻⁵	9.87 · 10 ⁻⁶	1.02 · 10 ⁻⁵	1.02 · 10 ⁻⁴	750 · 10 ⁻⁵
1 bar	10 ⁵	1	0.987	1.02	10.2	750
1 atm	1.013 · 10 ⁵	1.013	1	1.033	10.33	760
1 at = 1 kp/cm²	0.981 · 10 ⁵	0.981	0.968	1	10	736
1 m H₂O	0.981 · 10 ³	0.0981	0.0968	0.1	1	73.6

* Atmosferas Fisica ** Atmosfera Teórica

Tabla 2.2. Conversión de unidades de Presión².

PRESIÓN TOTAL:

Es la suma de la presión estática y la presión dinámica.

¹ Physics for scientists and Engineers. Capítulo 15, página 453.

² Manual de Bombeo de la Industria. Grundfos. Página 87.

$$P_{tot} = P_{sta} + P_{dyn} \quad \text{Ecu. 2.2}$$

Presión estática (psta):

Es la presión de un líquido sin movimiento. Se obtiene midiéndola con un manómetro colocado perpendicular al caudal.

Presión dinámica (pdyn):

Es la presión debida al movimiento del fluido. Se define como:

$$P_{dyn} = \frac{1}{2} \rho g v^2 \quad \text{Ecu. 2.3}$$

Donde, ρ es la densidad, g es la aceleración de la gravedad y v es la velocidad del líquido.

Debe observarse que generalmente se mide la presión con un dispositivo llamado manómetro. Este dispositivo no mide la presión absoluta sino la presión por encima de la presión atmosférica (1 atm). A la diferencia de presión entre el sistema y la atmósfera se conoce como presión manométrica.

Presión de sistema:

Es la presión presente en un punto del sistema cuando las bombas no están funcionando. Si el sistema es cerrado, la presión de sistema en [m] debe ser mayor a la altura del sistema. De esta manera se garantizará que el sistema se llene de líquido.

CAUDAL

Es el producto de la sección del tubo de corriente por la velocidad del fluido en la misma ($Q = S \times V$). Se mide en metros cúbicos por minutos u horas o en litros por segundo, minuto u hora.

Volumen del caudal o flujo volumétrico (Q):

Es el volumen de líquido que puede mover una bomba por unidad de tiempo, independientemente de la densidad del líquido. Se mide en [m³/h] y se lee directamente de la curva de la bomba. En aplicaciones de suministro de líquido, como en el caso de riego o agua potable, es el parámetro más importante de diseño, ya que se requiere que la bomba suministre un cierto volumen de agua.

$$Q = \frac{dV}{dt} \quad \text{Ecu.2.4}$$

Masa del caudal o flujo másico (Qm):

Se define como la masa que mueve una bomba por unidad de tiempo y se mide en [kg/s]. Donde m es la masa.

$$Q_m = \frac{dm}{dt} \quad \text{Ecu. 2.5}$$

En función de la densidad, esta ecuación puede escribirse de la siguiente manera.

$$Q_m = \rho \frac{dV}{dt}$$

$$Q_m = \rho Q$$

Debe notarse que la densidad de un fluido cambia en función de la temperatura y la presión. Por tanto, la cantidad de masa que puede mover una bomba

también será afectada por dichas variables. En la Figura se puede ver la variación de la densidad del agua en función de la presión (bar) y la temperatura (c°)

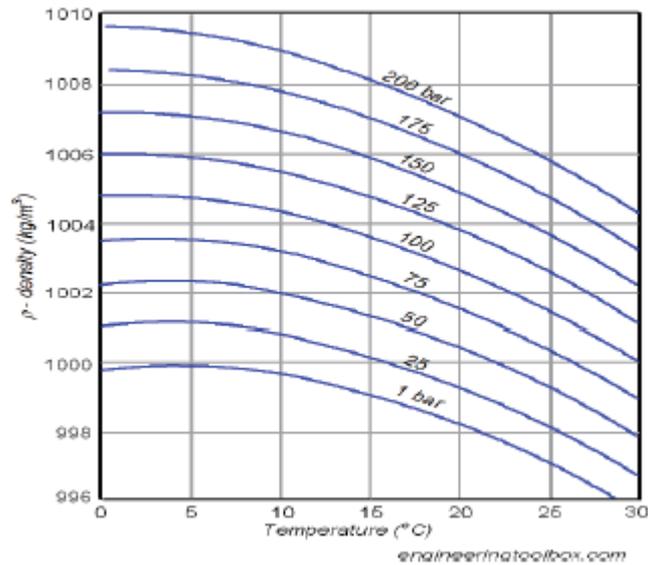


Figura 2.1 Densidad de agua como función de la presión y la temperatura

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN:

La resistencia a fluir cuando un líquido está moviéndose a través de una tubería resulta en una pérdida de cabezal o presión que conocemos como FRICCIÓN. La resistencia a fluir es debida a la viscosidad del líquido y turbulencia que ocurre a lo largo de las paredes de la tubería debido a la rugosidad.

La cantidad de pérdidas de cabezal para un sistema dado depende de las características del líquido, tales como viscosidad, tamaño de tubería, condiciones de la superficie interior de la tubería (rugosidad), y longitud de recorrido.

ALTURA (PUMPING HEAD)

Se define como la altura a la que puede una bomba elevar un líquido. Se mide en metros [m] y está dada por:

$$H = \frac{P}{\rho g} \quad \text{Ecu. 2.6}$$

Si bien esta definición es bastante sencilla conviene aclarar su interpretación en términos físicos y de ingeniería.

Una bomba es esencialmente una máquina de velocidad cuyo objetivo es convertir la energía mecánica de un impulsor rotativo (impeller), en energía de presión (head). La transferencia de esta energía al líquido, permite que éste realice trabajo; el mismo que puede ser: mover el líquido a través de las tuberías, elevarlo desde una fuente más baja hasta un reservorio o incrementar la presión de un sistema. A esta cantidad de energía por unidad de peso³ transmitida al líquido se conoce como altura o pump head.

Equivalencias Presión – Altura:

Se apuntan las ecuaciones que permiten convertir PSI a Pies y BAR en metros, en las ecuaciones Ecu. Y Ecu. Respectivamente. SG⁴ se refiere a la gravedad específica de la sustancia.

Conversión de PSI a Pies:

$$H = \frac{2.31 * P}{SG} \quad \text{Ecu. 2.7}$$

Conversión de Bar a Metros:

$$H = \frac{10.197 * P}{SG} \quad \text{Ecu. 2.8}$$

Altura dinámica total (TDH).- Una bomba debe vencer la resistencia de un sistema de bombeo para lograr que el líquido fluya totalmente en el sistema. La

³ Se refiere a la fuerza debida al campo gravitacional terrestre, no a la masa o cantidad de materia transportada. De ahí que la altura o head no dependa de la densidad de líquido sino de la velocidad del impulsor.

⁴ También denominada densidad relativa, es la relación por cociente entre la densidad de un líquido y la densidad del agua a una temperatura específica. Generalmente se utiliza el valor de la densidad del agua a 4°C, que corresponde a 1000 kg/m³.

resistencia al flujo del líquido es conocida como Altura Dinámica Total del sistema (TDH).

La altura dinámica total (TDH) es la suma de DOS partes:

- $\text{Altura Estática} + \text{Altura Dinámica} = \text{Altura Dinámica Total}$

Todos los valores de altura son medidos en metros o en Pies.

Altura estática.- representa la resistencia del sistema antes de que el fluido entre en movimiento.

Los componentes primarios de la altura estática son las diferencias de elevación entre:

La superficie del líquido al punto de succión

La superficie de líquido al punto de descarga.

La altura estática también cuenta con el diferencial de presión entre el punto de succión y el punto de descarga.

La altura estática no varía con la capacidad

Altura dinámica.- representa la resistencia del sistema mientras el fluido bombeado está en movimiento.

Perdidas de altura dinámica, aparecen una vez que el líquido comienza a fluir a través del sistema de bombeo. Estas pérdidas son debidas a la fricción y son llamadas Perdidas por fricción.

Columna de velocidad.- Es simplemente una función de la velocidad del fluido fluyendo a través del sistema de bombeo.

$$H = \frac{v^2}{2g} = 0.155V^2 \quad \text{Ecu 2.9}$$

Este valor es frecuentemente pequeño y generalmente despreciado.

Estos valores también vienen dados en tablas de pérdidas por fricción.

- El Requerido (NPSHR), que lo da el fabricante del equipo.

Para que no Cavite una bomba centrífuga del NPSH disponible debe superar al NPSH requerido, es decir debe cumplirse la siguiente relación.

$NPSHA > NPSHR$

Con esto se evitan problemas como:

- Bajo rendimiento de la bomba.
- Excesiva vibración.
- Operación con ruido.
- Falla prematura de los componentes.
- Cavitación

Cabezal Neto de Succión Positivo Disponible (NPSHA).- Es la cantidad de energía disponible (referido al eje de la bomba) sobre la presión de vapor que dispone el líquido en la brida de succión de la bomba a la temperatura de bombeo.

Se expresa en pies de columna del líquido bombeado.

El NPSHA depende de las características del sistema en el cual opera la bomba, del caudal y de las condiciones del líquido que se bombea, tales como: clase de líquido, temperatura, gravedad específica, entre otras.

Los factores que afectan el NPSHA incluyen:

- La presión que actúa sobre la superficie del fluido.
- Elevación relativa del fluido.
- Perdidas de fricción en la tubería de succión.
- Presión de vapor del fluido.

Estos factores constituyen las condiciones dinámicas de succión y deben ser cuidadosamente considerados antes de hacer la selección final de la bomba.

$NPSHa \text{ Disponible (Sistema)} = PB + HS - HF - PV$

- PB (+): Presión atmosférica (Barométrica), presión sobre la superficie de succión (pies) – Absoluta.
- HS (+): La más baja altura del fluido respecto de la línea central (pies).
- HF (-): Pérdidas de fricción desde la superficie del fluido hasta la línea central (pies).
- PV (-): Presión de vaporización del fluido a la máxima temperatura de trabajo (pies) – Absoluta.

Cabezal Neto de Succión Positivo Requerido (NPSHR).- Es el valor mínimo de la energía disponible sobre la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, requerida en la brida de succión de la bomba, para permitir que opere satisfactoriamente (sin cavitación) a una determinada velocidad de rotación del impulsor. Se expresa en pies de columna del líquido bombeado.

Depende exclusivamente del diseño de la bomba y de las condiciones de operación, siendo su valor proporcionado por el fabricante.

CAVITACIÓN

La cavitación aparece cuando la presión de aspiración es menor o igual a la presión de vapor del líquido bombeado. Cuando esto sucede se producen burbujas de vapor que implotan al aumentar la presión. Los efectos generados por la cavitación generalmente son:

1. Erosión de las superficies de los impulsores y su posible destrucción debido a las ondas de choque producidas cuando las burbujas implotan.
2. Incremento del nivel de ruido y las vibraciones de la bomba, que acortan el tiempo de vida de cojinetes, cierres y soldaduras.
3. Reducción del rendimiento de la bomba, que en casos extremos puede provocar la pérdida total de la misma.
4. También denominada densidad relativa, es la relación por cociente entre la densidad de un líquido y la densidad del agua a una temperatura específica. Generalmente se utiliza el valor de la densidad del agua a 4°C, que corresponde a 1000 kg/m³.

En la Figura 2.3 se puede observar la formación de las burbujas. Cuando estas circulan a través de los impulsores experimentan un cambio de presión que las obliga a implotar.

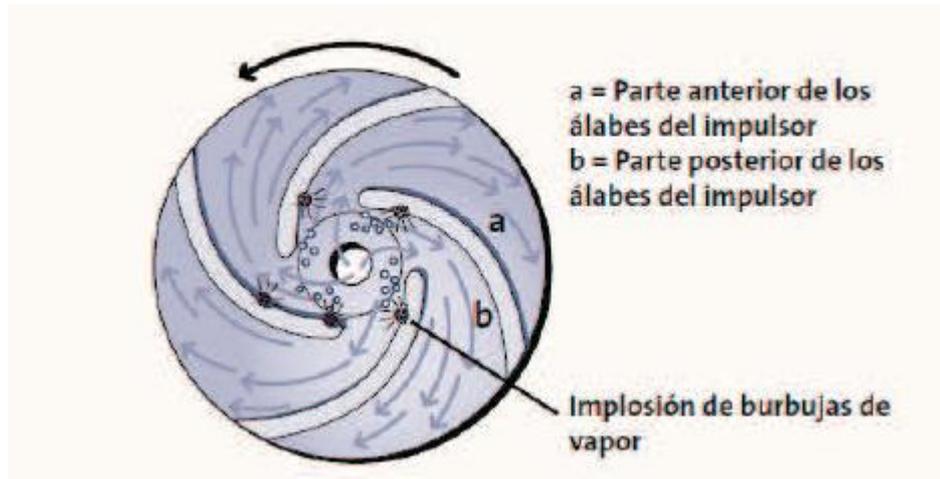


Figura 2.3 Formación de burbujas en la cavitación.

En la Figura se puede observar la reducción característica en el rendimiento debido a la cavitación:



Figura 2.4 Respuesta QH en cavitación

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO

Mecánicamente, estos sistemas se clasifican en función del recorrido del líquido o del tipo de trabajo realizado.

En función del recorrido realizado por el líquido se pueden clasificar en:

1. **Sistemas sin retorno:** son aquellos en que el todo el líquido es descargado del sistema. Un ejemplo de este sistema consiste en elevar agua desde un pozo hasta un reservorio que distribuye el agua entre los consumidores por gravedad.
2. **Sistemas con retorno total:** son sistemas en que el líquido es continuamente recirculado. Ejemplo de estos sistemas pueden ser intercambiadores de calor, chillers.
3. **Sistemas con retorno parcial:** son sistemas en que existe tanto retorno del líquido como su descarga en algún subproceso.

Según el tipo de trabajo realizado los sistemas de bombeo se pueden clasificar en:

1. **De intercambio térmico:** Chillers, Torres de enfriamiento, Agua de enfriamiento de Planta, Mill Roll Cooling, Agua de condensación, etc.
2. **Succión/Entrega:** Agua doméstica, Boiler Feed, toma de río, agua lluvia, Sprinkler Irrigation, Alcantarillado, etc.

Curvas Del Sistema

La mayoría de sistemas de bombeo tienen una combinación de carga estática y dinámica. Una curva de sistema es la representación gráfica de la altura requerida por el sistema para todos los valores de caudal. Independientemente de la configuración mecánica, función o tipo de control del sistema, el objetivo de esta curva es indicar el requerimiento de presión total ó altura en función del caudal. Los componentes principales del sistema son:

Static head: es la diferencia de altura entre el punto de entrada del sistema y el punto más alto de descarga.

Working Head: es la altura que debe estar disponible para el sistema en una localidad específica para satisfacer los requerimientos de diseño.

Friction head: es la altura requerida por el sistema para vencer la inercia del mismo a fluir a través de las tuberías, válvulas, bridas, uniones, etc.

Altura total del sistema: para un valor de flujo determinado, será la suma de la carga estática, la carga dinámica y la carga de trabajo. En la Figura 2.6. Se puede apreciar la Curva total del sistema.

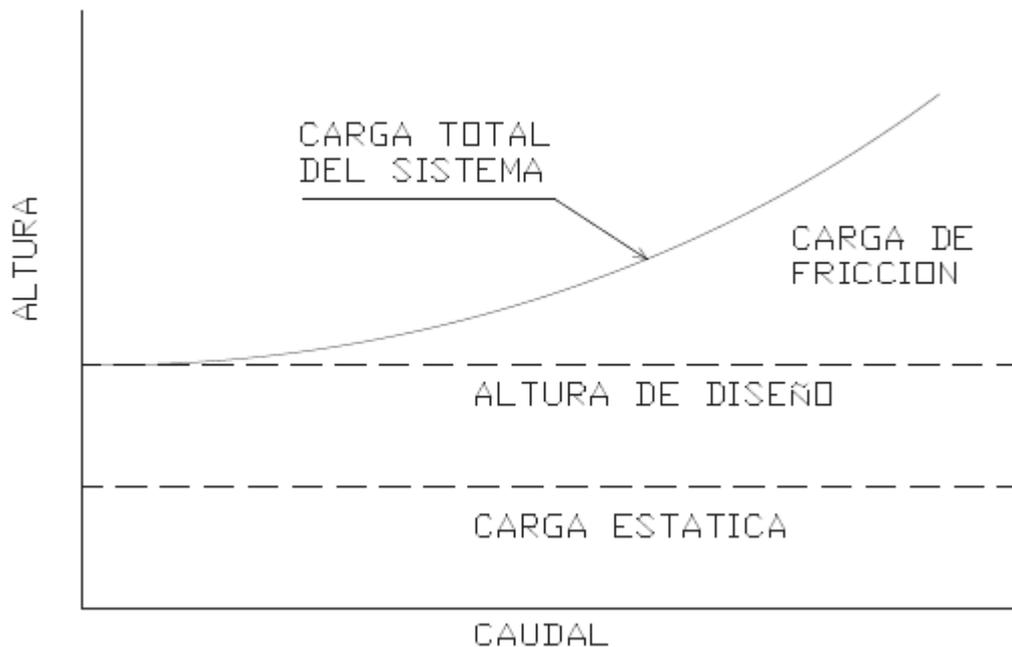


Figura 2.5. Curva total del Sistema

ESTRUCTURA DE LAS BOMBAS

Bombas centrífugas:

En 1687, el físico Denis Papin inventó la bomba centrífuga. Su principio de funcionamiento es la ley de conservación de la energía. Según esta ley, la energía no puede crearse ni destruirse, sólo se transforma. De esta manera, la bomba transforma la energía mecánica en energía de presión (head). Parte de

esta energía es utilizada en vencer la fricción interna propia de la sustancia debida a su viscosidad⁵. El resto de la energía restante se almacena en el líquido como una presión elevada, capaz de producir trabajo útil fuera de la bomba. Dicho de otro modo, una bomba centrífuga es una máquina de velocidad diseñada alrededor de su impeller.

La construcción de la bomba centrífuga es razonablemente económica, robusta y simple. La alta velocidad que posee permite que sea conectada directamente a un motor asíncrono, proporcionando un caudal constante de líquido fácil de regular.

En la Figura 2.6 se puede ver la construcción típica de una bomba centrífuga. La entrada de la bomba conduce el líquido directamente al centro del impulsor giratorio y desde allí se lanza hacia la periferia. Este tipo de construcción es adecuado para líquidos puros. En el caso de líquidos impuros (p.ej. para aguas residuales) se dispone de bombas diseñadas con un impulsor especial que evita atascos de objetos dentro de la bomba. Ya que el diseño es abierto, cualquier diferencia de presión existente cuando la bomba se encuentra en reposo, permite que el líquido fluya a través de la bomba.

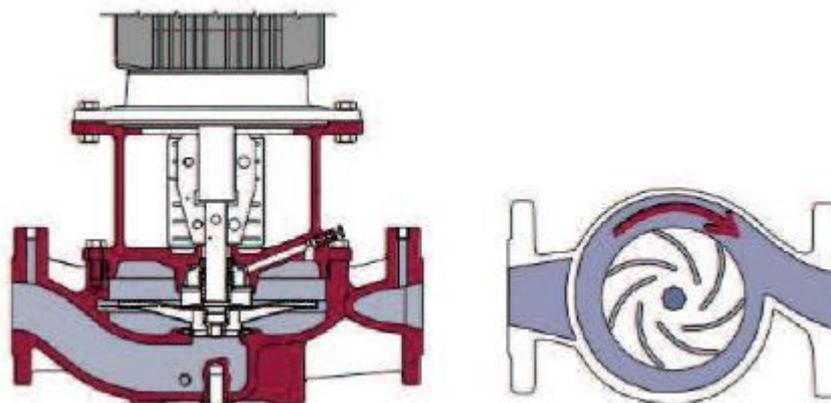


Figura 2.6. Estructura de una bomba centrífuga⁶

Tipos de bombas centrífugas:

⁵ Se define a la viscosidad como la resistencia de un fluido a ponerse en movimiento, debido a la atracción que se produce entre sus moléculas. La viscosidad de un líquido varía directamente con la temperatura.

⁶ GRUNDFOS, "Manual de Bombeo de la Industria", Grundfos 2004. Página 12

Generalmente se dispone de 3 tipos de bombas centrífugas a saber

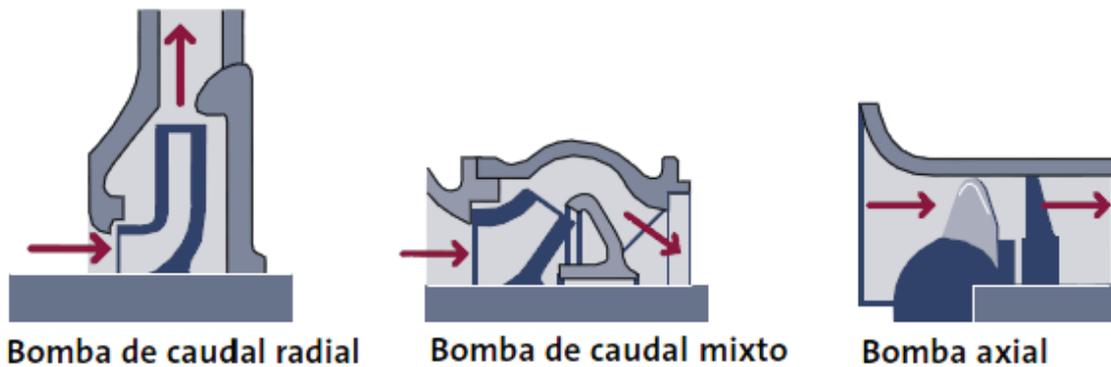


Figura 2.7. Tipo de Bombas centrífugas.

Bombas de caudal radial:

La corriente del líquido se mueve en planos radiales. La energía se transmite esencialmente por la fuerza centrífuga.

Bombas axiales:

La corriente líquida se mueve en superficies cilíndricas alrededor del eje de rotación. La energía es transmitida al líquido por los álabes.

Bombas de caudal mixto:

También conocidas como diagonales, son aquellas que el líquido se mueve radial y axialmente, impulsando el líquido tanto por fuerza centrífuga como por acción de los álabes.

Características de las bombas

Las curvas características de las bombas describen el desempeño de las mismas y son proporcionadas por el fabricante. Indican la altura, el consumo, el rendimiento y el NPSH como función del caudal a una velocidad determinada.

Pueden presentarse como una curva simple (Figura 2.8.), representando un diámetro específico del impulsor o como un juego de curvas para varios diámetros de impulsor en una carcasa (Figura 2.9.).

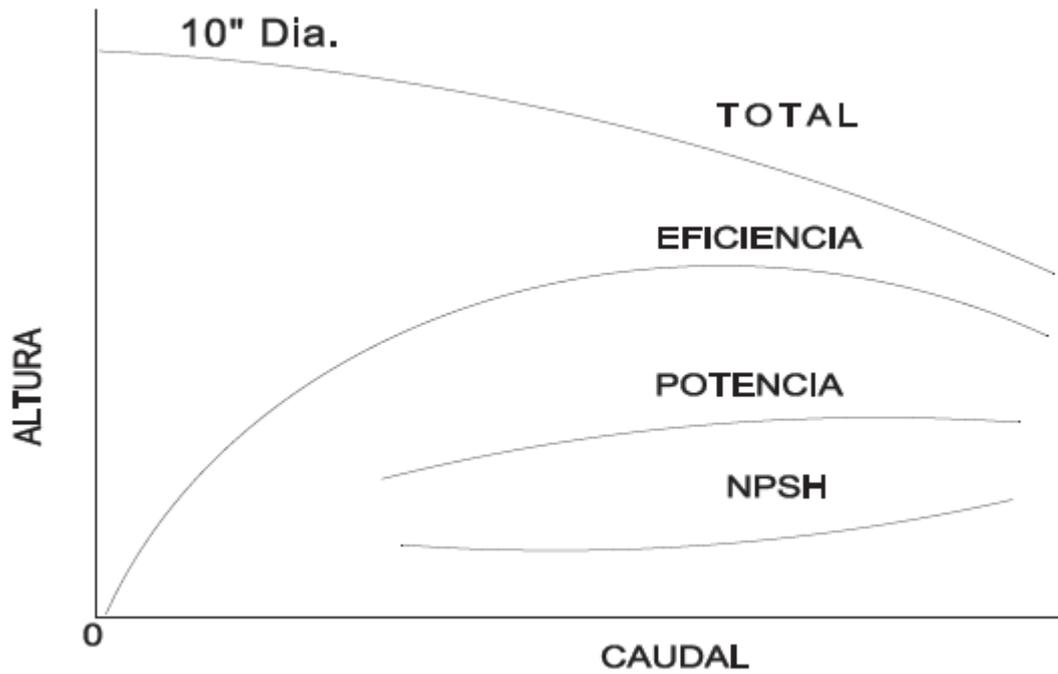


Figura 2.8. Curvas de Rendimiento para bomba centrífuga

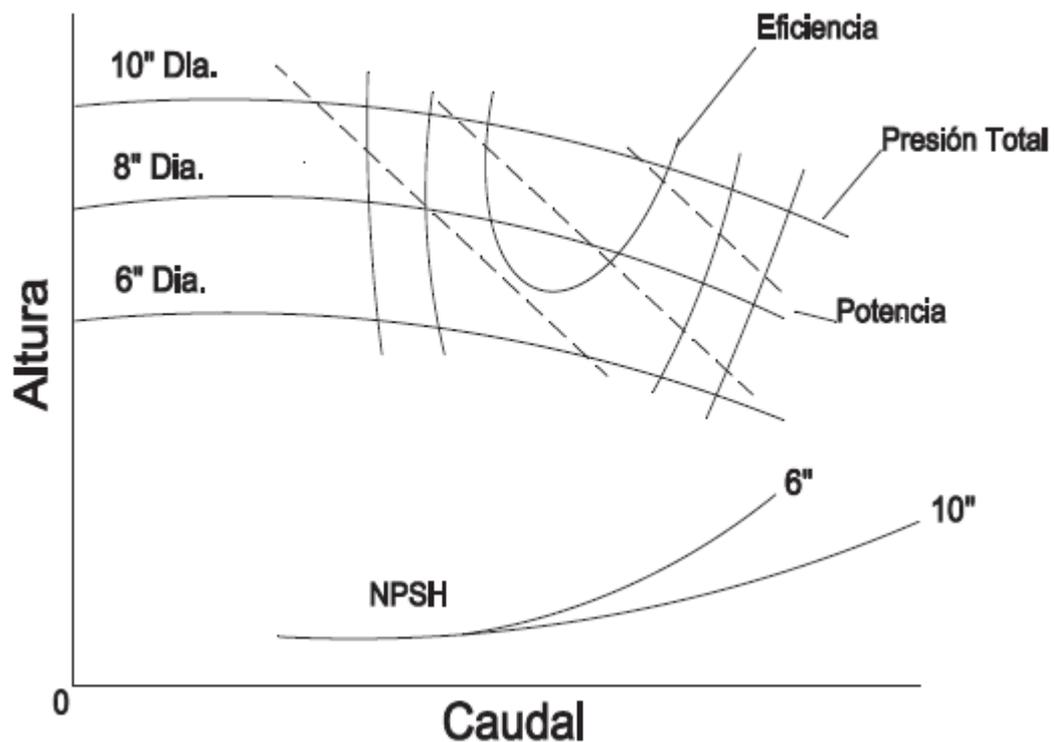


Figura 2.9. Curvas de rendimiento para varios diámetros de impeller

Normalmente estas curvas se refieren a la parte de la bomba. Sin embargo, en las bombas con motor integrado, es posible que las curvas de rendimiento abarquen tanto al motor como la bomba.

Curva de Altura QH:

Indica la altura que la bomba puede conseguir a un caudal dado. Generalmente la altura se mide en metros de la columna de líquido.

En una bomba ideal sin fricción la curva QH es una línea recta cuya pendiente depende del ángulo del impeller. Sin embargo, la curva ideal se ve afectada por la fricción, fugas y agitaciones que ocurren sobre el impeller y la estructura. En la Figura 2.10. Se puede apreciar tanto la curva ideal QH así como la curva real y las pérdidas debido a la fricción y la agitación.

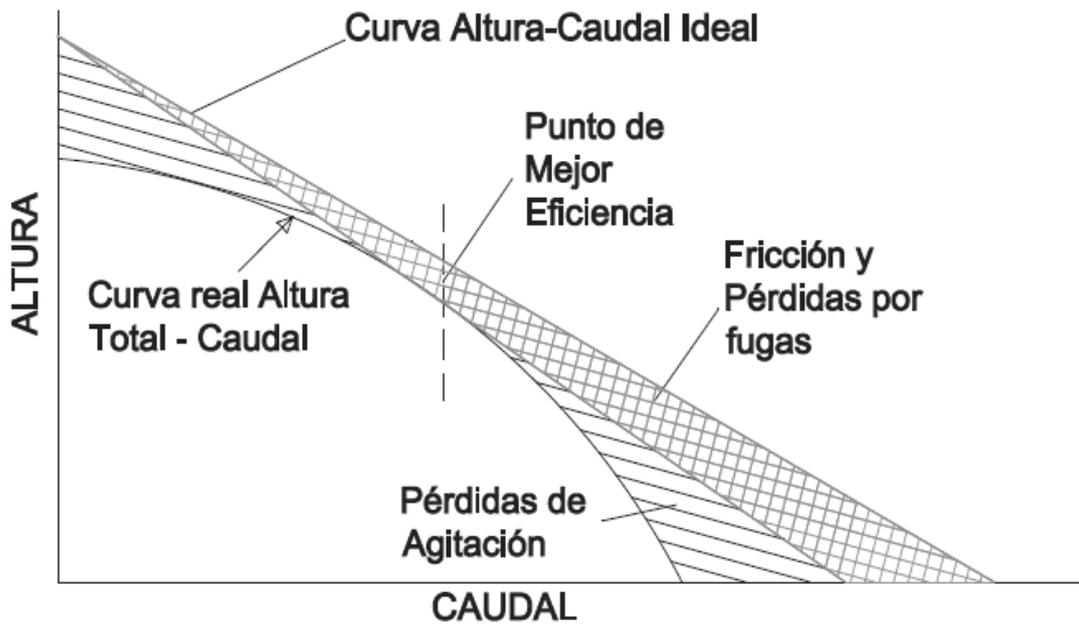


Figura 2.10. Curva teórica QH⁷

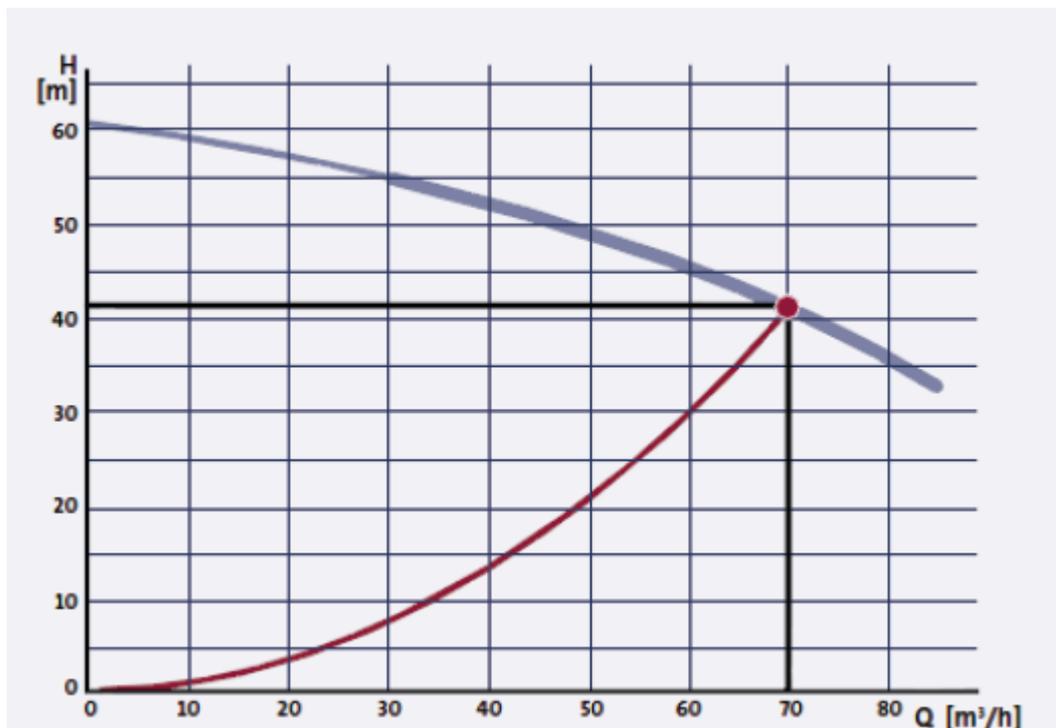


Figura 2.11. Curva Típica QH. Caudales pequeños permiten alcanzar grandes alturas. Caudales grandes permiten menores alturas.

⁷ PEERLESS Pump Company, "System Analysis for pumping equipment selection", Peerless Pump Company 2005, Indianapolis, Indiana. Página. 10

Punto de máxima eficiencia: es el punto en el que la suma de todas las pérdidas se minimizan. Este punto se indica en la Figura 1.12 como Best Efficient Point (BEP).

Curva de Rendimiento:

El rendimiento es la relación entre la potencia proporcionada y la cantidad de potencia utilizada, esto es, la relación entre la potencia que la bomba entrega al agua P_h y la potencia de entrada al eje P_2 .

$$n_p = \frac{P_h}{P_2} = \frac{\rho g Q H}{P_2} \quad \text{Ecu 2.10}$$

Donde ρ es la densidad, g la aceleración de la gravedad, Q el caudal y H la altura.

Como se puede observar en la Figura 2.12., el rendimiento depende del punto de servicio de la bomba. De ahí que su selección debe ser tal que se ajuste al requerimiento de caudal y garantice la operación de la bomba en el área de caudal más eficiente.

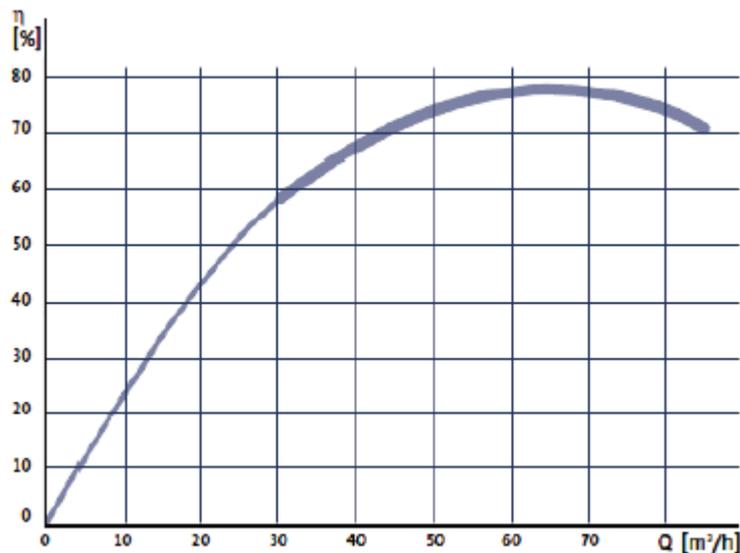


Figura 2.12. Curva de Rendimiento.

Para agua a 20°C, la potencia hidráulica se puede calcular en W como:

$$P_H = 2.72QH$$

Ecu 2.11

Curva de Consumo:

Como puede apreciarse en la Figura 2.14., el valor de consumo aumenta cuando el caudal aumenta.

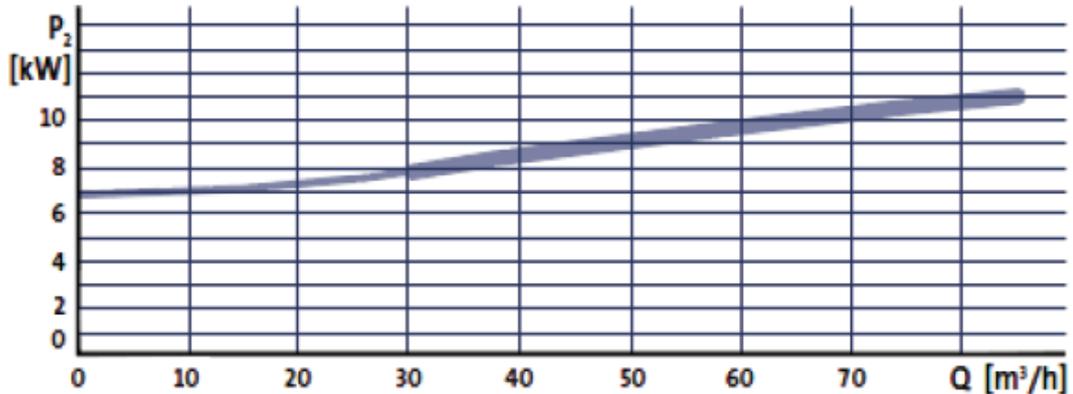


Figura 2.13. Curva típica de Consumo para bomba centrífuga.

Curva NPSH

El valor de altura de aspiración positiva es la presión absoluta mínima que debe existir en el lado de aspiración de la bomba para evitar la cavitación. El NPSH se mide en [m]. Cuando aumenta el caudal, el NPSH también aumenta.

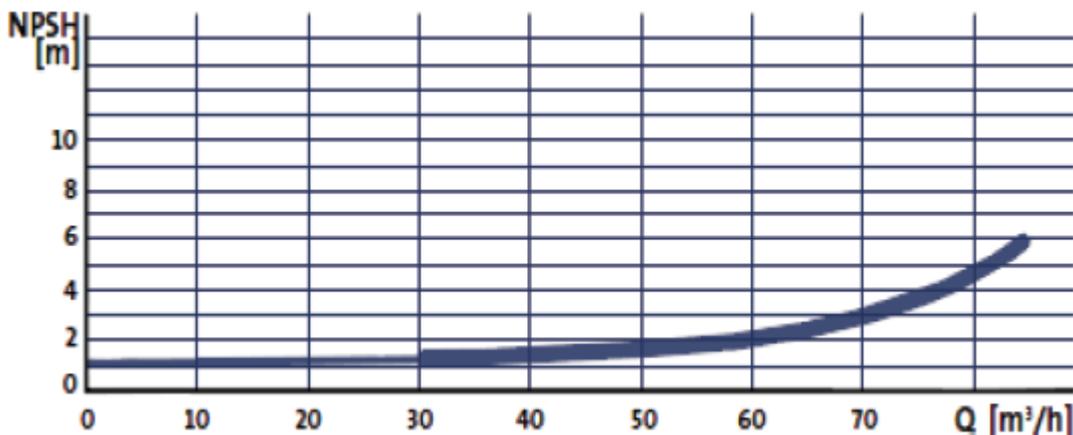


Figura 2.14. NPSH en función del caudal

Punto de Operación de la Bomba

La interacción de una bomba instalada en un sistema se puede ilustrar gráficamente mediante la superposición de la curva de respuesta QH de la bomba y la curva del sistema. La intersección de ambas curvas da origen a un punto llamado punto de operación o servicio de la bomba, como se indica en la Figura 2.15.

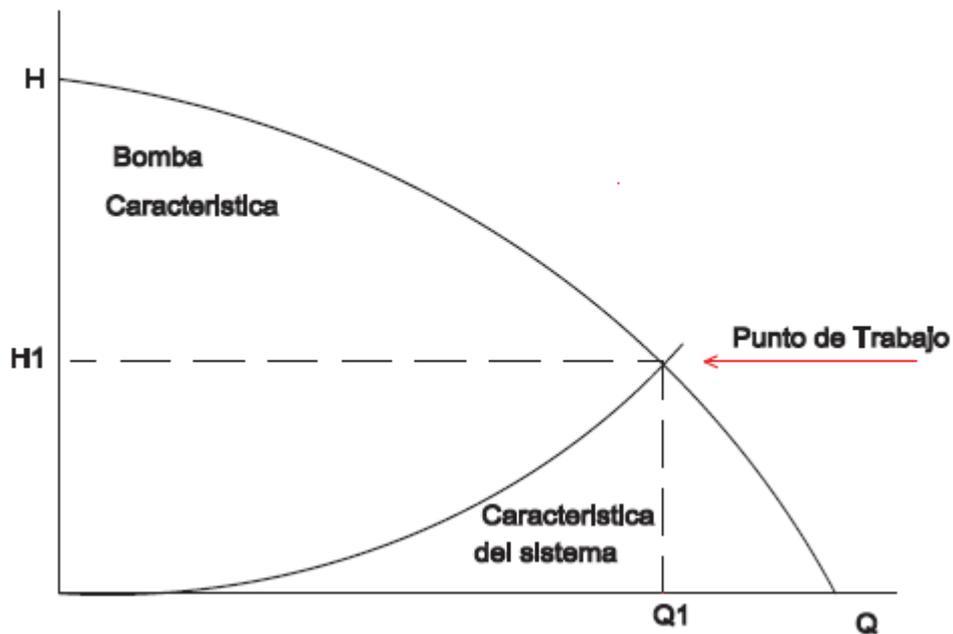


Figura 2.15. Punto de operación de la bomba

En las bombas centrífugas, un incremento en la resistencia del sistema reducirá el flujo. Si el flujo llega a cero, se obtiene la máxima altura. Esta condición es aceptable por un período de tiempo corto sin causar problemas.

Al seleccionar una bomba para una aplicación concreta es importante elegir una en la que el punto de servicio esté en el área de alto rendimiento de la bomba. Caso contrario, el consumo de la bomba será innecesariamente alto.

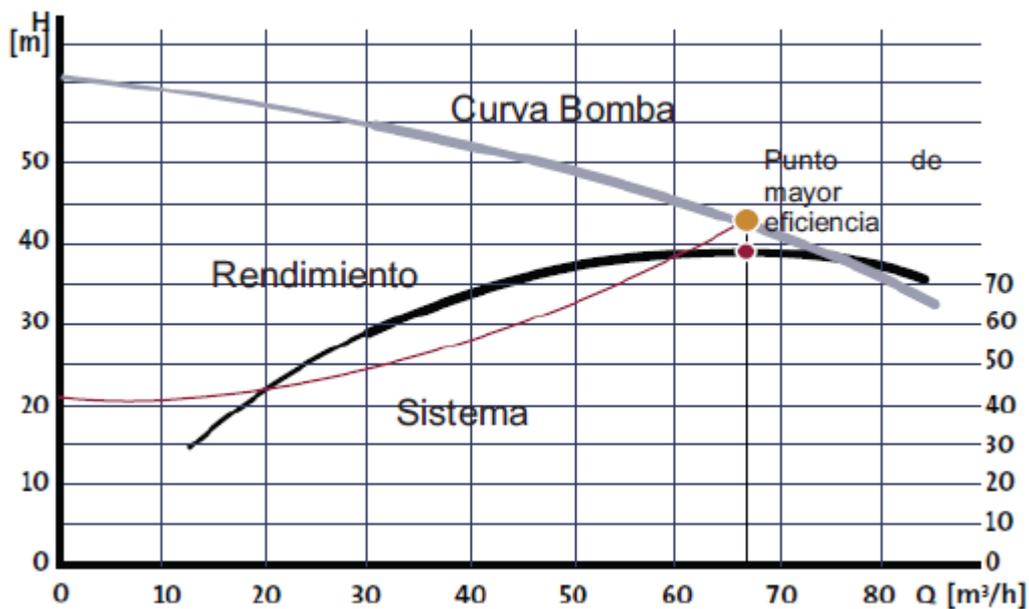


Figura 2.16. Punto de operación vs rendimiento.

En la Figura 2.16 se puede observar que el punto de operación de la bomba se encuentra fuera del área de rendimiento de la bomba. Se debe notar que generalmente los requerimientos de la curva del sistema cambian con el tiempo y por tanto se requiere ajustar el rendimiento de la bomba para que cumpla con los requerimientos cambiantes del sistema.

MÉTODOS DE AJUSTE DEL RENDIMIENTO DE LAS BOMBAS

En muchas ocasiones es necesario ajustar el rendimiento de la bomba para que satisfaga los requisitos cambiantes del sistema de bombeo. Con este fin, los métodos más comúnmente utilizados son:

- Control por estrangulamiento
- Cambio del diámetro del impulsor
- Control de velocidad

El método más óptimo para una aplicación determinada se puede derivar en función de la evaluación de la inversión inicial junto con los costos de

funcionamiento de la bomba. Cada método aporta un comportamiento energético diferente de la bomba.

Control por Estrangulamiento

Consiste en instalar una válvula de mariposa en serie con la bomba. El estrangulamiento permite reducir el caudal por medio del incremento de la resistencia del sistema. Esto hace que la curva del sistema se eleve a una posición superior. Cuando la válvula está abierta, el caudal es Q_2 . Con la válvula conectada, el caudal se reduce a Q_1 (Figura 2.17.).

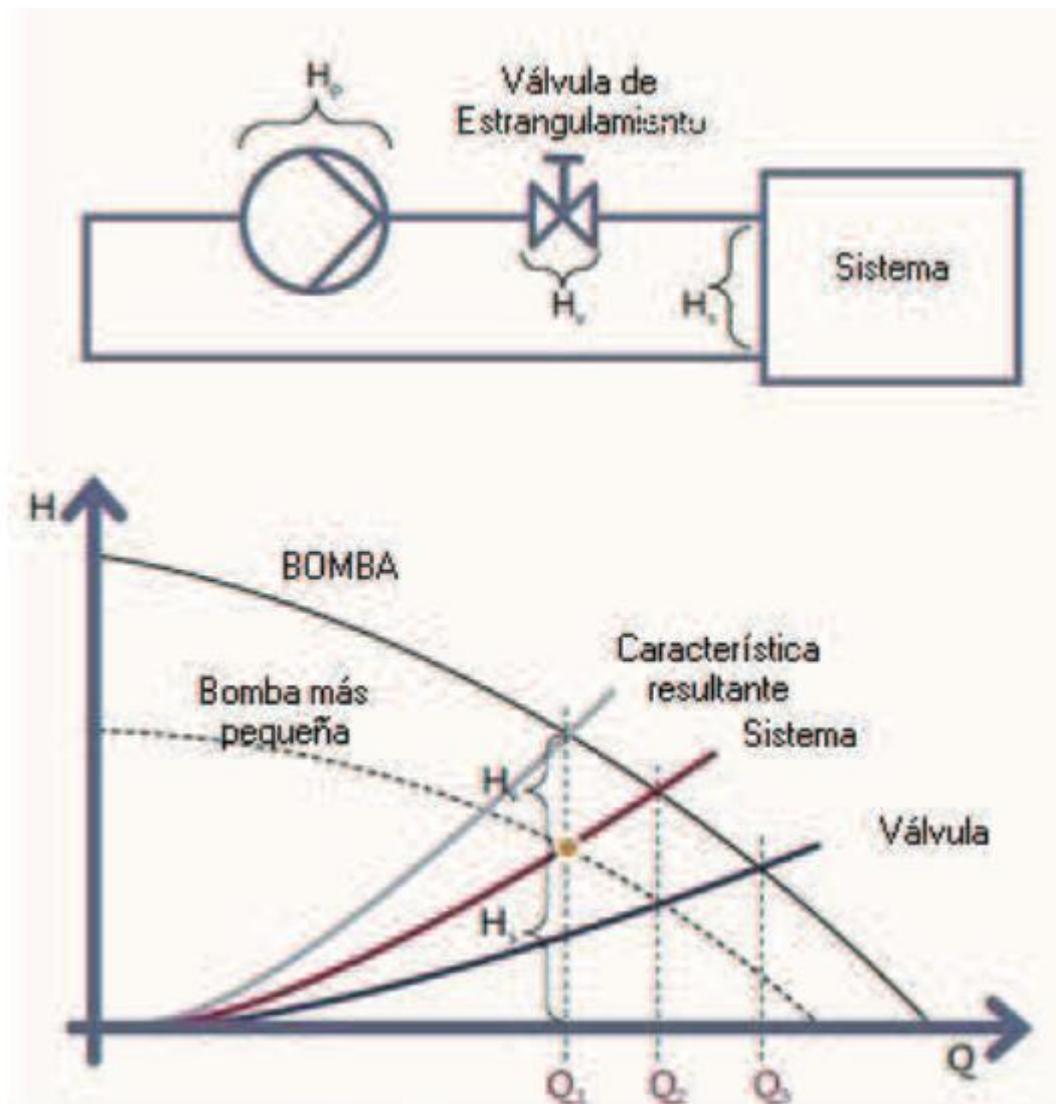


Figura 2.17. Control por estrangulamiento

Al ajustar el rendimiento de la bomba con este método, la bomba producirá una altura de elevación superior a la necesaria para el sistema.

Cambio de Diámetro del Impulsor

Este método consiste en cambiar el diámetro del impulsor de la bomba. Al reducir el diámetro, se reduce el consumo de la bomba. Esta modificación debe realizarse antes de instalar la bomba.

En este método el caudal y la altura cambian en la misma proporción, obteniéndose que los puntos de servicio estén sobre una línea recta con origen en (0,0). La variación del consumo es proporcional al cambio del diámetro elevado a la cuarta potencia.

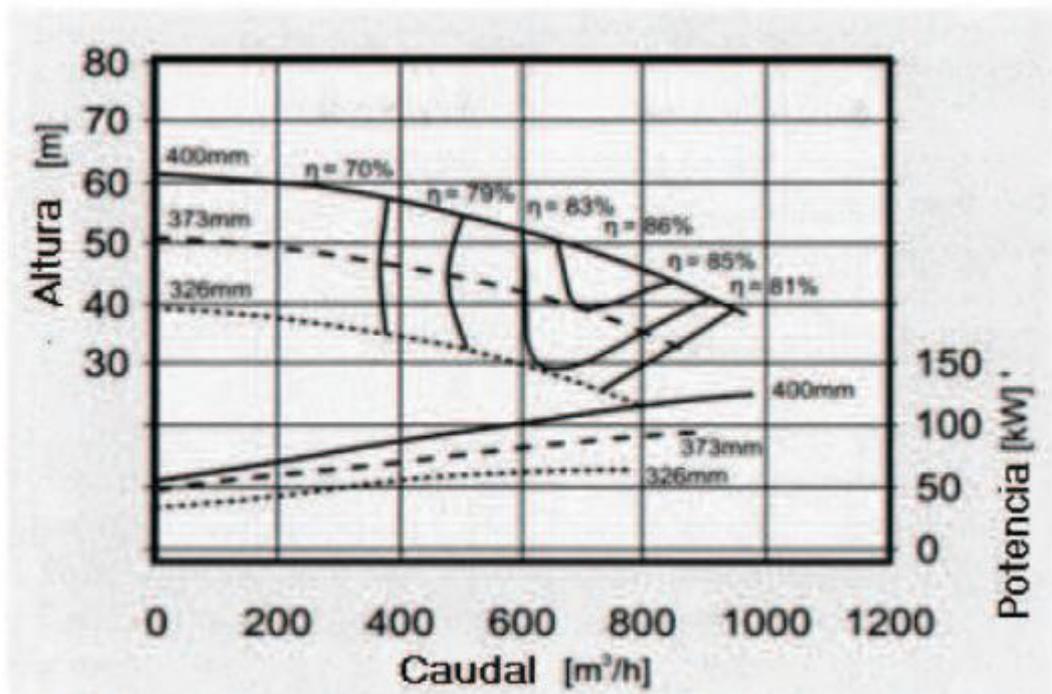


Figura 2.18. Control por cambio del diámetro del impulsor.

Control de Velocidad (Vfd)

El control de velocidad por medio de un convertidor de frecuencia (VFD) es considerado el método más eficaz para ajustar el rendimiento de una bomba, cuando se requiere caudal variable.

Como una bomba centrífuga es un dispositivo que genera presión mediante la rotación de su impulsor, se deduce que existe una relación entre la velocidad del impulsor y la presión o altura generada para un diámetro fijo del impulsor. Las ecuaciones que describen el desempeño de la bomba en función de la velocidad son las denominadas Leyes de Afinidad (Ec.).

$$\frac{Q_n}{Q_x} = \frac{n_n}{n_x}$$

$$\frac{H_n}{H_x} = \left(\frac{n_n}{n_x}\right)^2$$

$$\frac{P_n}{P_x} = \left(\frac{n_n}{n_x}\right)^3$$

Ecu. 2.12 Leyes de Afinidad

En la Ecu 2.12., Q, P, H y n designan el caudal, la potencia, la altura y la velocidad respectivamente. Por su parte, h corresponde al rendimiento de la bomba. Las relaciones expresadas por las Leyes de Afinidad permiten predecir cambios en los valores principales de la bomba al variar la velocidad de un valor n_x a un valor n_n . El comportamiento descrito por las leyes de afinidad se puede apreciar de manera gráfica en la Figura 2.19.

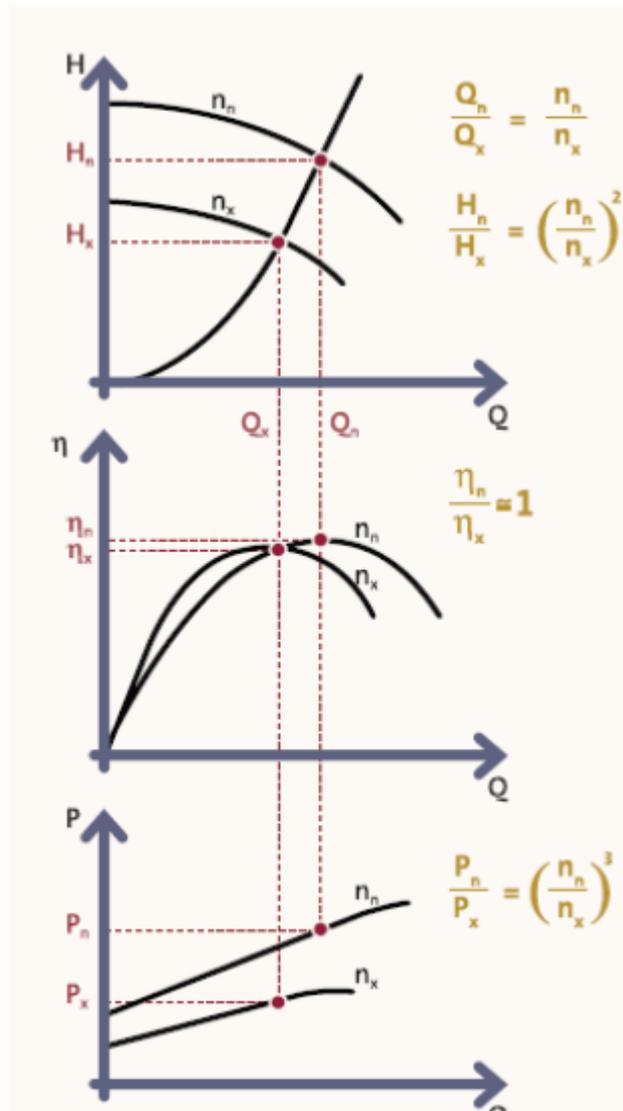


Figura 2.19. Características del sistema según las leyes de afinidad

En la práctica, se observa que una ligera disminución en la velocidad produce una variación significativa en la potencia demandada por la bomba. Por ejemplo, si la velocidad de la bomba se reduce a la mitad, la potencia se reducirá a la octava parte. El rendimiento, por su parte, forma una parábola que corta el origen de coordenadas.

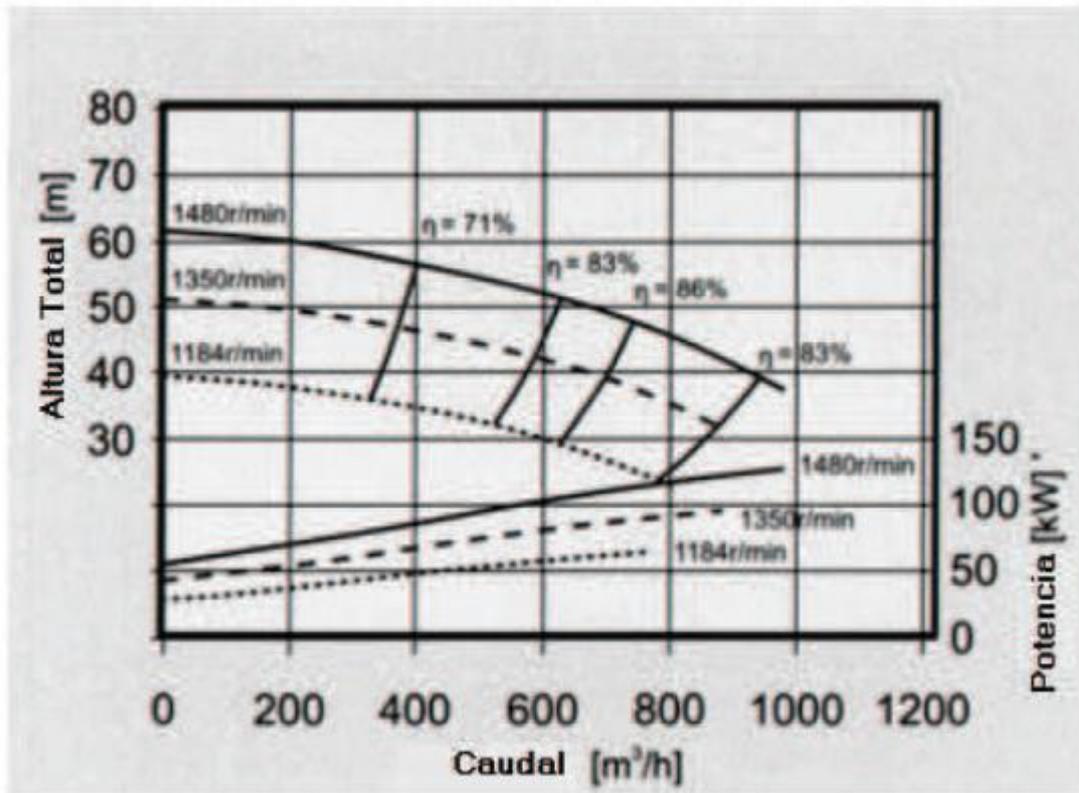


Figura 2.20. Curvas de rendimiento de la bomba al variar la velocidad

Como puede observarse de las curvas antes presentadas, la variación de la velocidad de la bomba da como resultado una nueva curva QH con menor altura y caudal, por lo que es posible reducir el caudal de la bomba sin incrementar la presión del sistema.

EFICIENCIA ENERGÉTICA

Al comparar los diferentes métodos que se disponen para ajustar el rendimiento de la bomba, interesa conocer cuáles permiten ahorro de energía en el desempeño del trabajo realizado por la bomba.

La potencia de salida de la bomba se puede definir como:

$$Potencia = \frac{Head(pies) \cdot Caudal(GPM) \cdot SG}{3960} \quad \text{Ecu 2.13}$$

Por tanto la potencia transmitida al líquido en un gráfico QH se puede representar como el área de los rectángulos contenidos en la curva QH para cada punto de operación como se indica en la Figura.

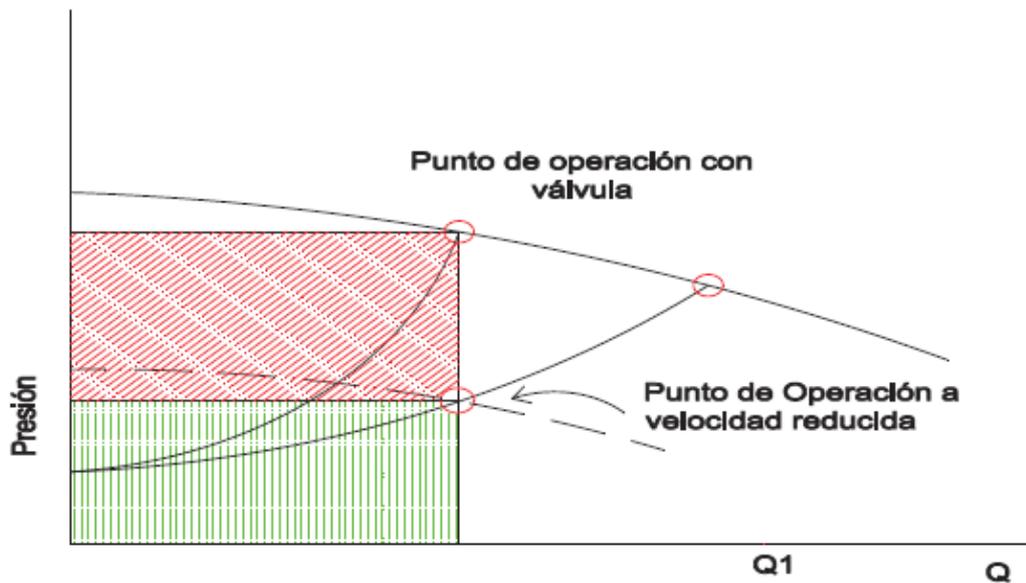


Figura 2.21. Consumo Energético VFD vs Válvulas de estrangulamiento

La Figura 2.21 indica que al reducir el caudal utilizando el método de estrangulamiento, se tendrá que incrementar innecesariamente la presión del sistema. Por tanto, este método utiliza una potencia igual a la suma del área del rectángulo oscuro y claro. En cambio, al utilizar un variador de frecuencia, se crea una nueva curva QH que permite alcanzar la misma reducción de caudal a una presión menor, lo que no sólo se traduce en menos consumo de energía, ya que sólo consume la energía representada por el área del rectángulo claro, sino que existe menos fricción en el sistema mecánico.

Energéticamente, los diferentes métodos de control de rendimiento de la bomba se pueden apreciar de forma resumida en Figura. En ella se puede notar que el funcionamiento con VFD de la bomba genera la menor demanda de energía

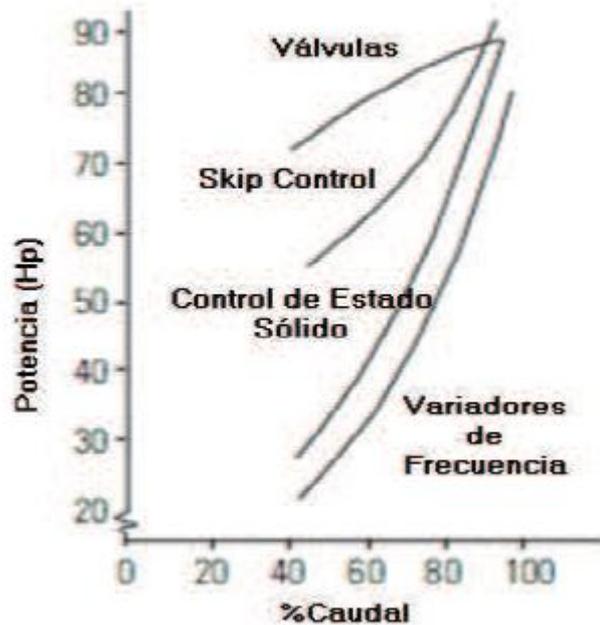


Figura 2.22. Comparación de la potencia de entrada

Ventajas del Control de Velocidad Por VFD

Menor consumo de energía:

Las bombas de velocidad controlada sólo utilizan la cantidad de energía necesaria para realizar un trabajo específico. Comparada con otros métodos la velocidad controlada por frecuencia ofrece el mayor rendimiento y la utilización más eficiente de la energía.

Bajo costes del ciclo vital:

Un funcionamiento eficiente permite un menor consumo energético, lo que se refleja en menores costes de operación. En comparación con sistemas de velocidad fija, las bombas con velocidad controlada pueden reducir el consumo de energía hasta un 50%.

CONFIGURACIONES DE BOMBEO:

Configuración serie:

Este tipo de conexión se utiliza cuando el sistema se caracteriza por altas pérdidas de fricción y poca carga estática, ya que la presión resultante para un caudal determinado es igual a la suma de las presiones desarrolladas por cada bomba. Por esta razón, este tipo de sistema se suele conocer también como de presión aditiva. En la Figura 2.23 se muestra un esquema de la conexión de las bombas y la curva de rendimiento resultante.

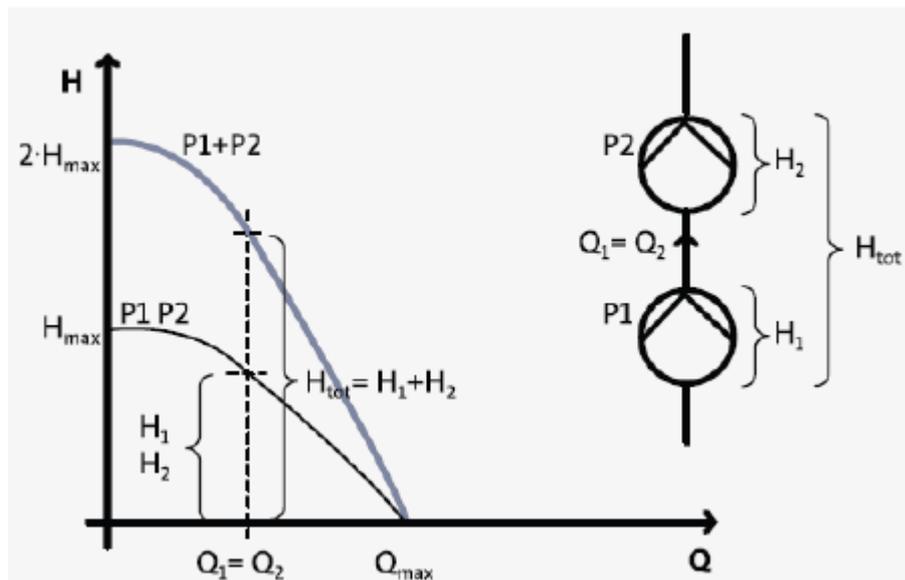


Figura 2.23. Bombas Conectadas en Serie

Si ahora se superpone la curva de sistema, se tiene que si sólo opera la bomba 1, el sistema operará en el punto A a la presión y caudal indicados por la Figura 2.24. Si se conecta la otra bomba, el sistema operará en el punto B.

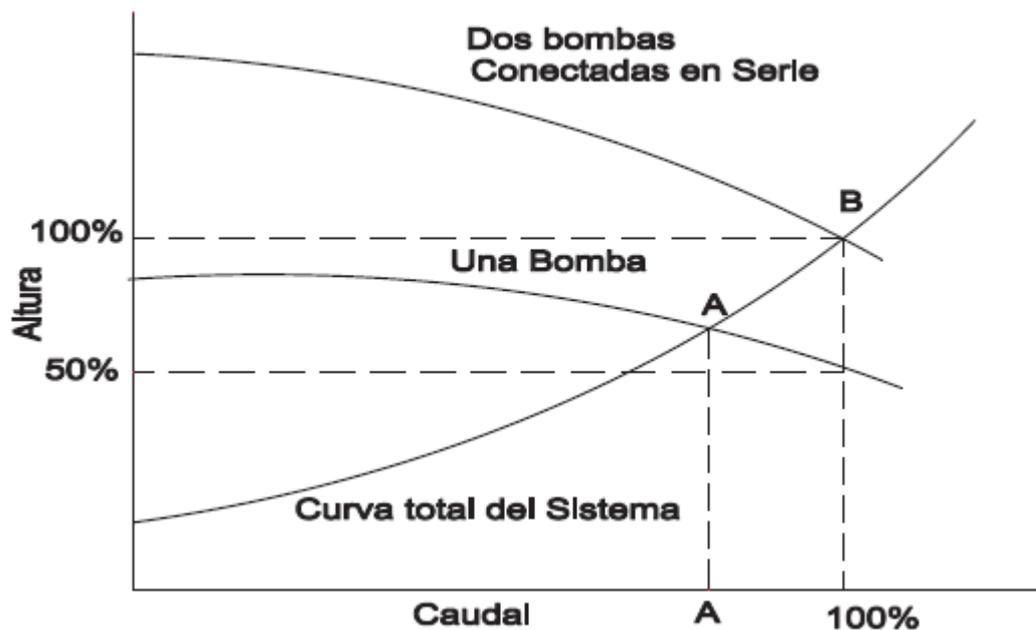


Figura 2.24. Curva de Sistema y de rendimiento en conexión en serie

Sin embargo, este tipo de respuesta sería la esperada de tener 2 bombas de iguales características conectadas en serie. En caso de que las bombas fueren de tamaños diferentes, existen puntos operativos donde sólo una de ellas proporciona caudal al sistema.

Configuración en paralelo:

La conexión de bombas en paralelo es un método de regulación de caudal eficiente, generalmente utilizado en sistemas de alta carga estática, cuando el caudal requerido por el sistema es mayor al caudal que provee una sola bomba, o cuando los requisitos de caudal son variables. El método generalmente consiste en conectar varias bombas auxiliares en paralelo para suplir la demanda. En la Figura 2.25 se puede observar la configuración en paralelo de manera esquemática y la respuesta QH combinada.

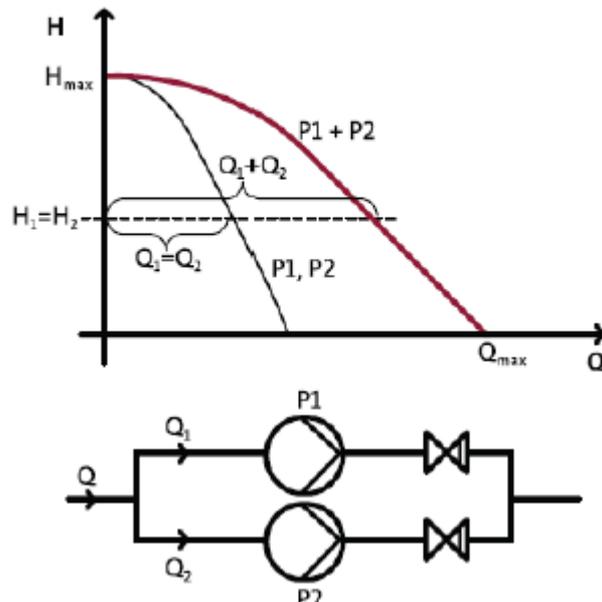


Figura 2.25. Bombas en Paralelo⁸

De la Figura 2.25 se puede observar también que la salida de cada bomba se conecta una válvula de retención para evitar un reflujos de agua.

Normalmente las bombas instaladas en paralelo son de similares características. En este caso, la curva de rendimiento total del sistema de bombas en paralelo se obtiene sumando los caudales individuales de cada bomba para el mismo valor de altura. De ahí que a este tipo de conexión de bombas se le conoce como de flujo aditivo. En la Figura 2.26 se puede ver la curva típica obtenida al poner en paralelo 2 bombas.

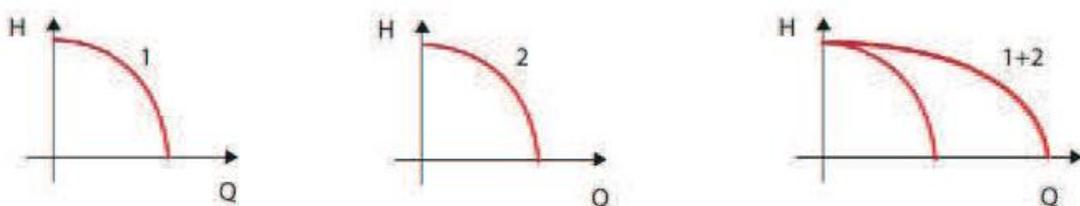


Figura 2.26. Curvas QH en paralelo⁹

⁸ GRUNDFOS, "Manual de Bombeo de la Industria", Grundfos 2004, página 102.

⁹ http://www.cbs.grundfos.com/CBS_Master/lexica/images/image_files/Pumps_in_parallel.jpg?__scale=w:331,h:123,t:1,c:transparent

En este tipo de arreglo, todas las bombas trabajan a la misma presión, altura o cabeza, donde la curva QH combinada se interseca con la curva del sistema.

Por ejemplo, en la Figura 2.27, se puede observar una curva de sistema con carga estática y de fricción.

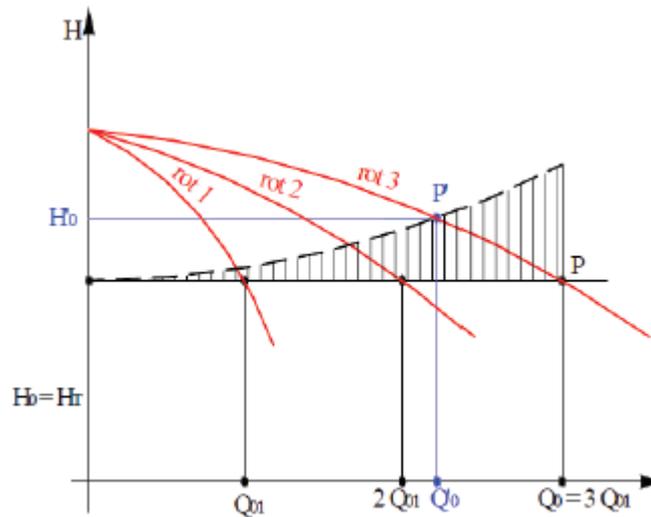


Figura 2.27. Curva QH en paralelo y curva de sistema¹⁰

VARIADOR DE FRECUENCIA

Un regulador electrónico de velocidad está formado por circuitos que incorporan transistores de potencia como el IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) o tiristores, siendo el principio básico de funcionamiento transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable.

Esta variación de frecuencia se consigue mediante dos etapas en serie. Una etapa rectificadora que transforma la corriente alterna en continua, con toda la potencia en el llamado circuito intermedio y otra inversora que transforma la corriente continua en alterna, con una frecuencia y una tensión regulables, que dependerán de los valores de consigna. A esta segunda etapa también se le

¹⁰ <http://escuelas.fi.uba.ar/iis/BOMBAS%20Seleccion%20Fina.pdf>

suele llamar ondulator. Todo el conjunto del convertidor de frecuencia recibe el nombre de inversor.

El modo de trabajo puede ser manual o automático, según las necesidades del proceso, dada la enorme flexibilidad que ofrecen los reguladores de velocidad, permitiendo hallar soluciones para obtener puntos de trabajo óptimos en todo tipo de procesos, pudiendo ser manejados por ordenador, PLC, señales digitales o de forma manual.

El dimensionamiento de un variador de frecuencia se realiza en función de los siguientes parámetros:

- a) La corriente nominal del motor a la tensión de trabajo. La potencia es en general un parámetro de guía.
- b) El tipo de tensión instalado en el sistema y su valor. Debe existir la alimentación de AC suficiente para cargar al BUS de DC de la etapa inversora.
- c) El rango de velocidad de operación del sistema. Si el sistema exige operaciones a más de 60 Hz, el torque que se puede proveer al sistema se verá disminuido, debido a que la tensión no aumenta; por tanto operar en esta condición implica operar a una potencia menor. De igual manera, si la velocidad de operación es muy baja (menos del 30%), el motor puede ser recalentado por insuficiente refrigeración. Las bombas operaran en el rango completo de velocidad de 0 a 60 Hz.
- d) La altura, temperatura ambiente de operación y humedad del ambiente. Todos los equipos sufren de una reducción en la potencia en función de la altura de la instalación. Adicionalmente, se debe considerar el ambiente en el que trabaja el variador. Normalmente, los variadores de frecuencia vendidos en el país son de grado IP20, por tanto deben estar protegidos del agua o de la condensación de la misma y de la exposición al polvo.
- e) Desempeño bajo sobrecarga. Normalmente, los fabricantes especifican el valor de corriente máximo que puede proveer el equipo bajo sobrecarga, especificando la duración y repetición del evento.

- f) El tipo de frenado del sistema: frenado rápido, regenerativo, etc. Si el frenado de la carga es muy rápido se puede requerir de resistencias de frenado o variadores regenerativos que disipen la energía devuelta. En este caso, no aplica frenar al sistema, ya que se está trabajando con bombas.
- g) Longitud del cableado de salida del variador. Si las distancias son muy largas, y debido a que la frecuencia de conmutación de los IGBTs de los variadores es de al menos 4kHz, se generan efectos capacitivos en las líneas de conexión variador – motor. Este efecto se ve incrementado por la distancia del cableado. Para evitar este tipo de problema, cuando la distancia es mayor a 50 m. en cables apantallados o 100 m. en cables no apantallados, se requiere la instalación de reactancias de salida. La distancia entre el tablero de control y las bombas es menor a 100 mts. Y el cable utilizado no es apantallado, por lo que no se requiere reactancias de salida.
- h) El tipo de control o regulación adecuado para la aplicación:
- Control V/F
 - Control V/F parabólico (bombas, ventiladores)
 - Control V/F con compensación de flujo o FCC
 - Curva programable V/F
 - Control vectorial con encoder
 - Control Vectorial sin encoder

A continuación se muestra una fotografía del variador



Figura 2.28. Variador Micromaster 440

Bornes de Conexión del Variador:

Bornes de Potencia:

El variador seleccionado corresponde al tamaño constructivo tipo D. En la siguiente figura 2.29. Se aprecian los bornes de potencia del variador.

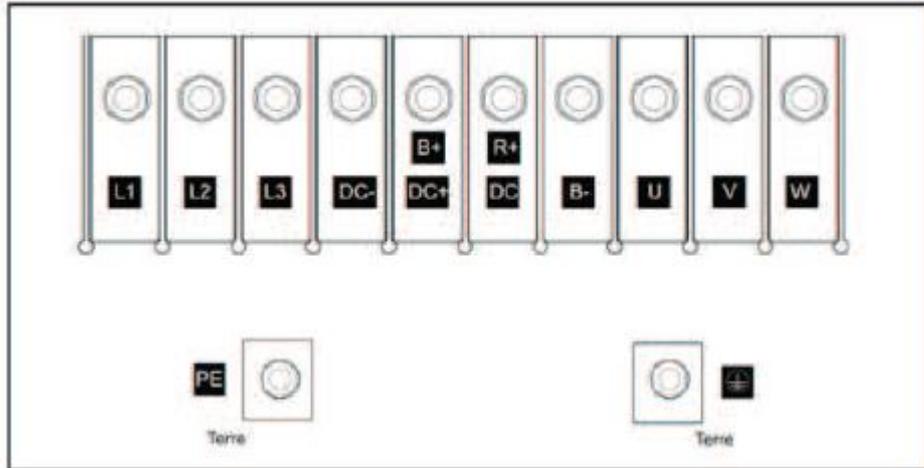


Figura 2.29. Bornes de Potencia del variador

Borne	Función
L1/L2/L3	Alimentación trifásica 220 Vac
U/V/W	Conexión a motor trifásico asincrónico
DC+/DC-	Bus de DC
B+/B-	Conexión a Resistencia de Frenado
PE	Conexión a Tierra

Tabla 2.3. Funciones de los bornes de potencia del variador

Bornes de Control:

En la Tabla 2.7 se puede apreciar el juego de 30 bornes para operaciones de control que dispone el variador. Están resaltados los bornes que han sido conectados para llevar a cabo el proyecto.

Borne	Denominación	Función
1	-	Salida +10 V
2	-	Salida 0 V
3	ADC1+	Entrada analógica 1 (+)
4	ADC1-	Entrada analógica 1 (-)
5	DIN1	Entrada digital 1
6	DIN2	Entrada digital 2
7	DIN3	Entrada digital 3
8	DIN4	Entrada digital 4
9	-	Salida aislada +24 V / máx. 100 mA
10	ADC2+	Entrada analógica 2 (+)
11	ADC2-	Entrada analógica 2 (-)
12	DAC1+	Salida analógica 1 (+)
13	DAC1-	Salida analógica 1 (-)
14	PTCA	Conexión para PTC / KTY84
15	PTCB	Conexión para PTC / KTY84
16	DIN5	Entrada digital 5
17	DIN6	Entrada digital 6
18	DOUT1/NC	Salida digital 1 / contacto de reposo
19	DOUT1/NO	Salida digital 1 / contacto de trabajo
20	DOUT1/COM	Salida digital 1 / conmutador
21	DOUT2/NO	Salida digital 2 / contacto de trabajo
22	DOUT2/COM	Salida digital 2 / conmutador
23	DOUT3/NC	Salida digital 3 / contacto de reposo
24	DOUT3/NO	Salida digital 3 / contacto de trabajo
25	DOUT3/COM	Salida digital 3 / conmutador
26	DAC2+	Salida analógica 2 (+)
27	DAC2-	Salida analógica 2 (-)
28	-	Salida aislada 0 V / máx. 100 mA
29	P+	Conexión RS485
30	N-	Conexión RS485

Tabla 2.4 Funciones de los Bornes de control

Los bornes 5, 6 y 7 están conectados a las salidas del PLC, I1, I2 e I3, respectivamente. Por su parte los bornes 10 y 11, que corresponden al canal analógico 2, están conectados al transmisor de presión. Las salidas digitales, en los bornes 18 a 20 y 21 a 22 están conectadas a relés auxiliares que controlan el encendido y apagado de las luces piloto de estado.

Físicamente el juego de bornes de Mando se aprecia en el variador como se indica en la Figura 2.30:

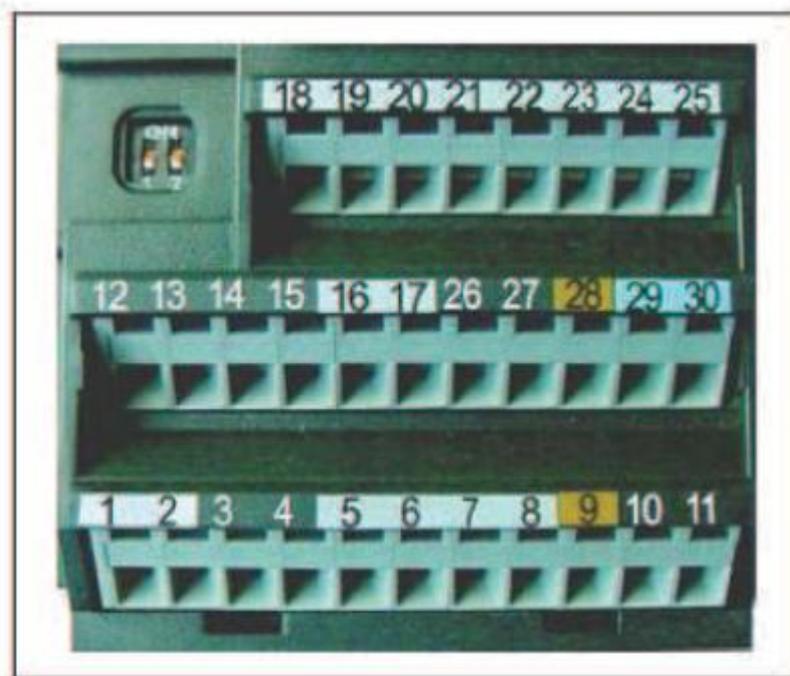


Figura 2.30. Bornes de mando

CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (programmable logic controller), 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 mecánicas.

Los PLC son utilizados en muchas industrias y máquinas. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en baterías copia de seguridad o en memorias no volátiles. Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real «duro», donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado, de lo contrario no producirá el resultado deseado

En la Figura 2.31 se muestra el PLC y sus módulos de manera física.



Figura 2.31. PLC Logo y accesorios

TRANSMISOR DE PRESIÓN

Para la retroalimentación de la presión del sistema se utiliza un transmisor de presión que convierte la variable física en una señal de corriente que puede ser interpretada por los variadores y el PLC.

Su funcionamiento en la conversión de la presión en una señal eléctrica se consigue mediante la deformación física de los extensómetros que están unidos en el diafragma del transductor de presión y cableados en una configuración de puente de Wheatstone. La presión aplicada al transductor de presión produce una deflexión del diafragma, que introduce la deformación a los medidores. La deformación producirá un cambio de resistencia eléctrica proporcional a la presión.

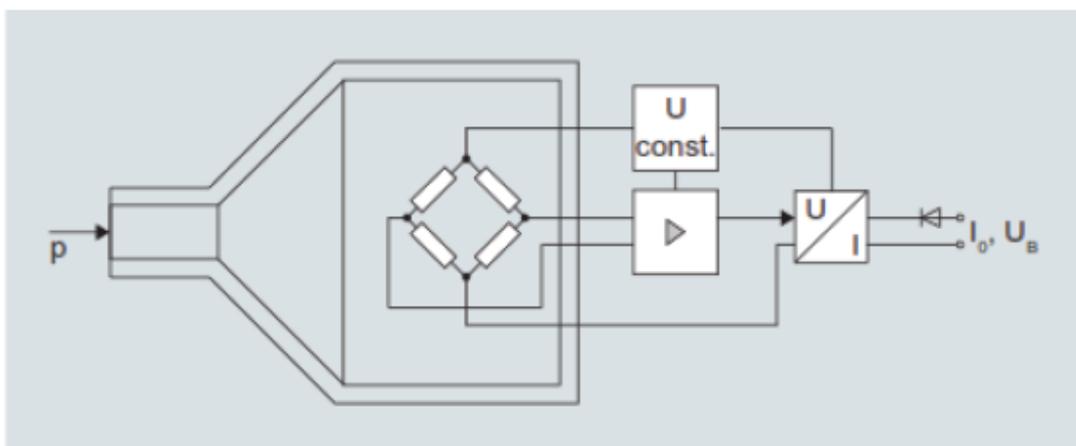


Figura 2.32. Modo de funcionamiento del transmisor

El transmisor utilizado es un equipo pasivo, ya que no tiene terminales propios o independientes de alimentación. Su esquema de conexión es el siguiente:

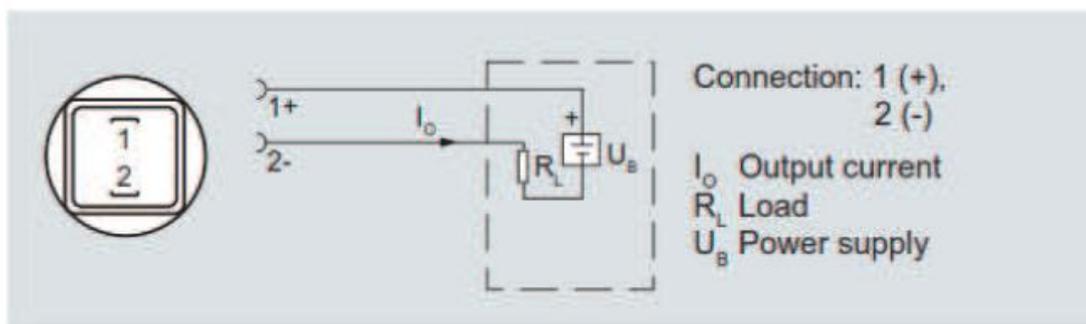


Figura 2.33. Esquema de conexión con salida de corriente de acuerdo a EN175301

Como puede observarse, la alimentación para el transmisor de presión se conecta directamente al conector 1. Por el conector 2 se obtiene la respuesta de corriente, la misma que se cablea a las entradas analógicas de los variadores y la entrada analógica del PLC en forma serial. El último punto se conecta nuevamente al negativo de la fuente. Se debe recordar el uso de cable apantallado para mitigar las influencias electromagnéticas a las que pueda estar sujeto el transmisor.



Figura 2.34. Transmisor de Presión Siemens.

EQUIPOS ADICIONALES

Como equipos adicionales de protección se instala el CR LIQTEC. Este equipo permite detectar el nivel de agua en la bomba generando una señal de alarma mediante contacto tipo relé que es utilizada en el sistema de control para desconectar inmediatamente la bomba. De esta manera se previene el funcionamiento de la bomba en seco que es una de las causas más frecuentes de deterioro de las bombas en la industria.

Debido a que otra gran fuente de problemas en una bomba es el incremento de la temperatura del líquido, situación que sucede en la cavitación o en la aspiración de aire, el equipo también mide la temperatura de la bomba. Para esto, el equipo acciona el contacto de alarma una vez alcanzada la temperatura de 130°C.

Adicionalmente el equipo detecta si el cable del sensor de nivel/temperatura está roto, lo que lo convierte en un equipo intrínsecamente seguro. Tiene una entrada de PTC por lo que se puede también evaluar la temperatura del motor. Si bien esta función también se puede realizar directamente con el variador de frecuencia.

Bornes de conexiones Liqtec:

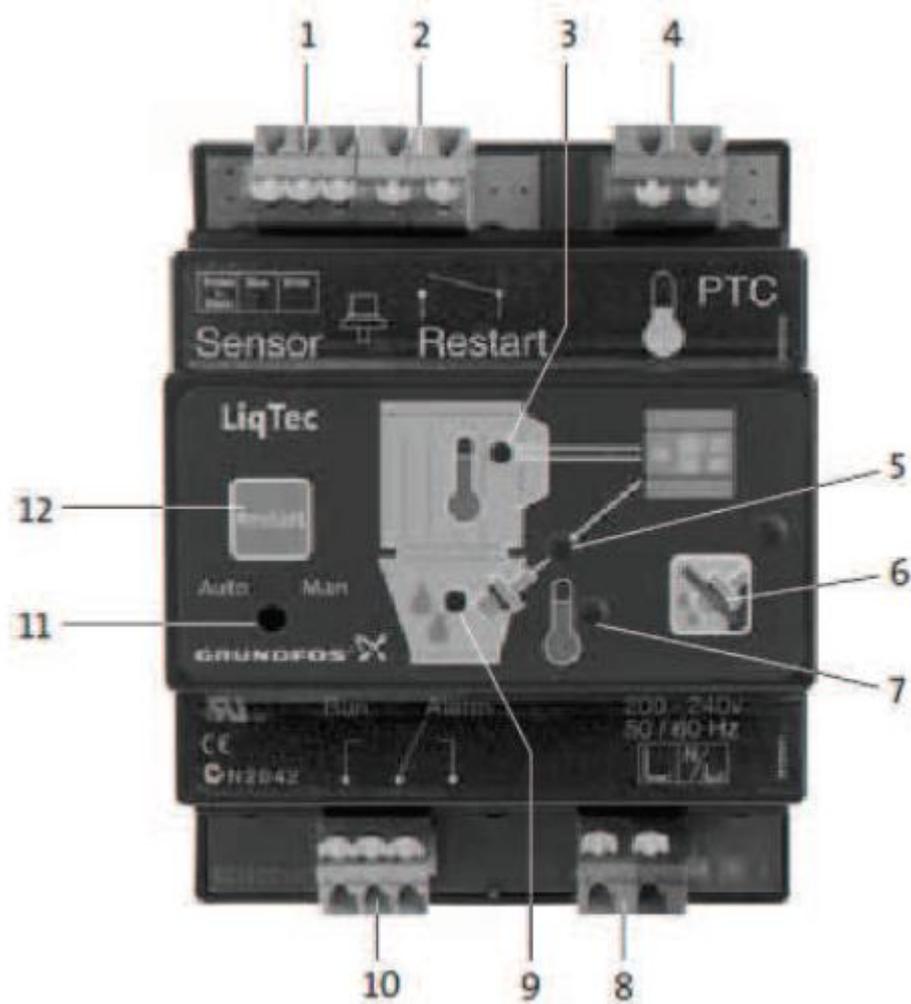


Figura 2.35. Liqtec

1. Borne de conexión para el sensor de dry – running
2. Pulsador de reinicio
3. Indicador de temperatura del motor
4. Bornes de conexión para las PTC del motor
5. Indicador del cable del sensor
6. Desactiva la función de protección de bombeo en seco (dry-running)
7. Indicador de temperatura del líquido.
8. Conexión de alimentación a 220 VAC
9. Indicador del sensor de protección de bombeo en seco.
10. Contacto de alarma. Se activa si el cable del sensor está roto, la temperatura del líquido es muy alta o la bomba está sin agua.

11. Permite escoger entre reseteo de falla manual o automático
12. Botón de reinicio del bombeo.

CAPITULO III. DESARROLLO DE LA Metodología

3.1. Análisis del Modelo o Caso

En el sistema de bombeo de agua que se estuvo instalando a nuestros clientes no consistía de una programación de trabajo

El antiguo sistema de trabajo su funcionamiento consistía en que el transductor de presión manda una señal eléctrica en donde indica la presión del agua dentro de las tuberías. La presión requerida está regulada por el variador de frecuencia, este a su vez modifica la frecuencia y tensión a la entrada de la bomba para aumentar o disminuir la velocidad según lo requiera la demanda de caudal

Este nuevo sistema de bombeo de agua que su base principal es mantener la presión constante a partir de la velocidad variable de las bombas, por ello en estos tipos de sistemas están formados por una bomba de velocidad controlada por medio de un variador de frecuencia (VFD) con un algoritmo de control Proporcional – integral. El sistema de control mide la presión real suministrada (p_1) mediante un transmisor de presión (PT). Este valor es retroalimentado al variador que compara el valor medido con el valor de consigna de presión (p_{set}) configurado.

Si la presión real es superior al valor establecido, el sistema de control reduce la velocidad y el rendimiento de la bomba. De igual manera si la presión real es menor, la velocidad de la bomba será incrementada. La instalación de la

bomba garantiza que la presión de suministro será constante en el rango de caudales entre 0 y Q_{max} , como se puede ver en la Figura 3.1.

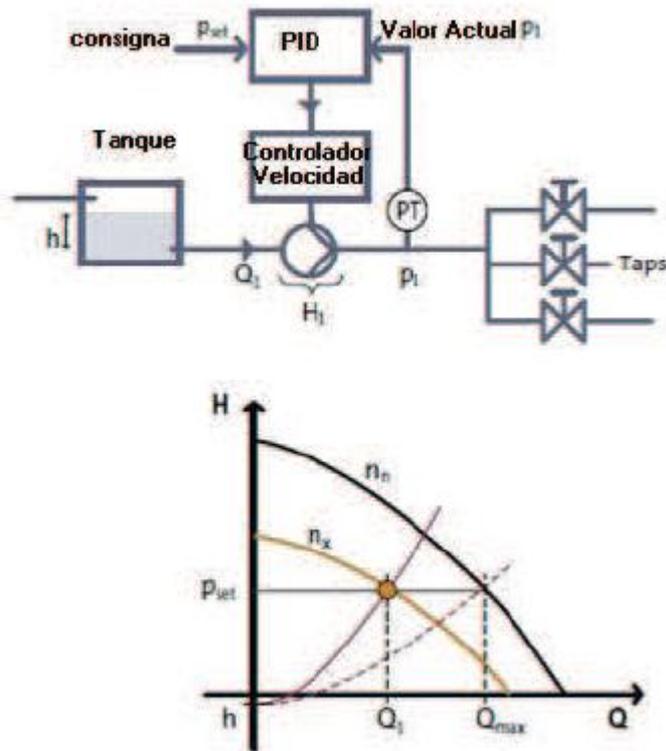


Figura 3.1. Sistema de presión constante

3.2. Construcción del Modelo Mejorado

En el proyecto en ejecución se están implementando los siguientes elementos con las características mencionadas

Características eléctricas de las bombas:

Las características eléctricas del motor de la bomba son:

Características eléctricas		
Motor trifásico	MG132SB2-38FF265-H3	
Potencia:	7,5	kW
Frecuencia:	60	Hz
Conexión Delta		
Voltaje:	220 -277	Vac
Corriente:	24,6 - 20,8	A
Corriente máxima:	27,0 - 22,8	A
Conexión Y		
Voltaje:	380-480	Vac
Corriente:	14,2-12,0	A
Corriente máxima:	15,6 -13,2	A
COSPHI	0,9-0,82	
EFICIENCIA	IE2	IE3
	89,50%	90,20%

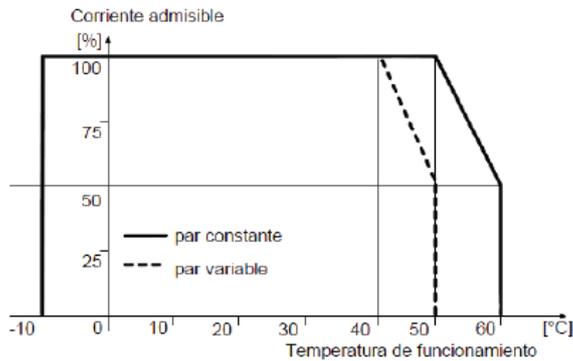
Tabla 3.1. Características eléctricas de las bombas

El variador debe ser capaz de suministrar la cantidad suficiente de corriente que requiere la aplicación en ejecución normal. Para esto se debe considerar la reducción en suministro de corriente debido a la altura y temperatura; así como los requerimientos de refrigeración del variador a seleccionar.

Temperatura:

Dependiendo de la temperatura de operación, existe disminución en la corriente que el variador puede proporcionar al motor. El fabricante provee la siguiente curva, mostrada en la Figura 3.2, como guía:

Tamaños constructivos A hasta F



Tamaños constructivos FX y GX

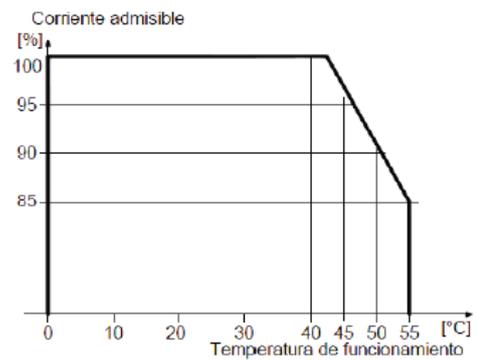


Figura 3.2. Corriente de salida en función de la temperatura

El fabricante presenta dos curvas distintas en función del tamaño de los equipos. Para una potencia de 7.5 kW, el variador tiene un tamaño tipo D. Adicionalmente la curva es diferente si el tipo de carga es de torque variable (bombas) o de torque constante (p.ej. elevadores).

De la Figura 2.33, puede observarse que la corriente empieza a disminuir a partir de los 40°C para cargas de torque variable y a partir de los 50°C para cargas de torque constante.

En el caso de un edificio multifamiliar las temperaturas de operación no superan los 30°C. Por tanto, no se requiere realizar un sobredimensionamiento del variador debido a la temperatura.

Sin embargo, de acuerdo a las especificaciones técnicas del equipo, un variador utiliza dos medios para evacuar el calor generado en las etapas de potencia a saber: a) mediante disipador, b) mediante circulación aire¹¹.

Altitud:

En general a partir de los 1000 msnm, se produce la disminución de la capacidad de corriente. Al igual que con la temperatura, el fabricante indica mediante una curva corriente vs altura la disminución esperada en su equipo, como se indica en la Figura 3.3.

¹¹ Existen otros equipos que debido a su potencia o su arquitectura inclusive pueden utilizar circulación de agua para su refrigeración

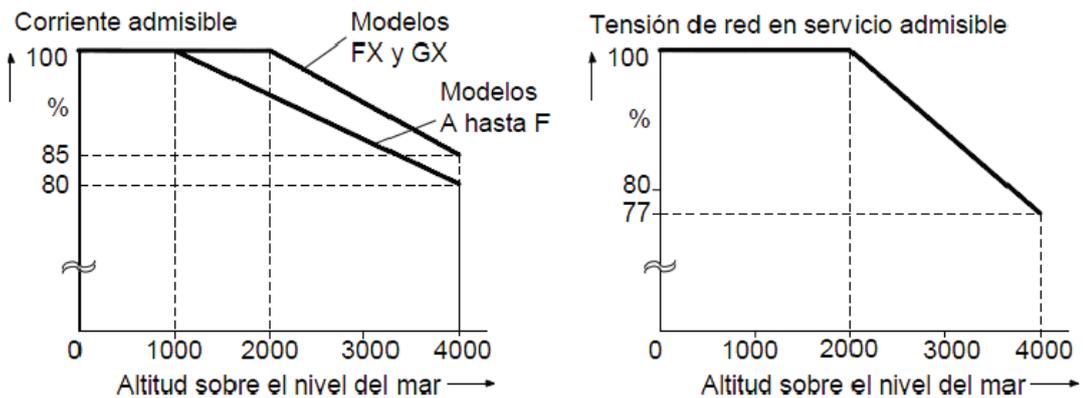


Figura 3.3. Corriente en función de la altura sobre el nivel del mar

En la Tabla 3.2, proporcionada por el fabricante, se puede apreciar las características de algunos variadores de la familia Micromaster 440 de Siemens, clasificados en función de la potencia motor esperada:

Referencia	6SE6440-	2UC24- 0CA1	2UC25- 5CA1	2UC27- 5DA1	2UC31- 1DA1	2UC31- 5DA1	2UC31- 8EA1	2UC32- 2EA1	2UC33- 0FA1	2UC33- 7FA1	2UC34- 5FA1
Potencia nominal (CT)	[kW]	4,0	5,5	7,5	11,0	15,0	18,5	22,0	30,0	37,0	45,0
	[hp]	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	40,0	50,0	60,0
Potencia de salida	[kVA]	7,7	9,6	12,3	18,4	23,7	29,8	35,1	45,6	57,0	67,5
Corr. de entrada CT 1)	[A]	19,7	26,5	34,2	38,0	50,0	62,0	71,0	96,0	114,0	135,0
Corr. de salida CT.	[A]	17,5	22,0	28,0	42,0	54,0	68,0	80,0	104,0	130,0	154,0
Corr. de entrada VT 1)	[A]	28,3	34,2	38,0	50,0	62,0	71,0	96,0	114,0	135,0	164,0
Corr. de salida VT	[A]	22,0	28,0	42,0	54,0	68,0	80,0	104,0	130,0	154,0	178,0
Fusible	[A]	32	35	50	80	80	100	125	200	200	250
recomendado	3NA	3812	3814	3820	3824	3824	3830	3832	3140	3142	3144
obligatorio para UL	3NE	+	+	1817-0	1820-0	1820-0	1021-0	1022-0	1225-0	1225-0	1227-0
Sección mínima cable de entrada	[mm ²]	4,0	4,0	10,0	16,0	16,0	25,0	25,0	70,0	70,0	95,0
	[awg]	12	12	8	6	6	3	3	2/0	2/0	3/0
Sección máxima cable de entrada	[mm ²]	10,0	10,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	150,0	150,0	150,0
	[awg]	8	8	2	2	2	2	2	300	300	300
Sección mínima cable de salida	[mm ²]	4,0	4,0	10,0	16,0	16,0	25,0	25,0	50,0	70,0	95,0
	[awg]	12	12	8	6	6	3	3	1/0	2/0	3/0
Sección máxima cable de salida	[mm ²]	10,0	10,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	150,0	150,0	150,0
	[awg]	8	8	2	2	2	2	2	300	300	300
Peso	[kg]	5,5	5,5	17,0	16,0	16,0	20,0	20,0	55,0	55,0	55,0
	[lbs]	12,1	12,1	37,0	35,0	35,0	44,0	44,0	121,0	121,0	121,0

1) Condiciones marginales: La corriente de entrada en punto nominal es válida para una tensión de cortocircuito de la red $U_c = 2\%$ basada en la potencia nominal del convertidor y una tensión nominal de red de 240 V sin bobina de conmutación de red.

Tabla 3.2. Especificaciones Técnicas de Variadores Micromaster 440

Para los requerimientos de las bombas instaladas en un sistema de bombeo de agua es suficiente trabajar con el variador 6SE6440-2UC27-5DA1. Ya que al

ser la carga una bomba, la curva Torque – Velocidad de este tipo de carga es variable.

Características técnicas variador 6se6440-2uc27-5da1:

En la Tabla 3.3 se resumen las características técnicas principales del variador

	Tipo de variador	Bajo Voltaje	
	Código	6SE6440-2UC27-5DA1	
Datos de entrada	Voltaje de Entrada	200 -240	Vac
	Corriente de entrada		
	Torque constante	33,97	A
	Torque Variable	48,72	A
Datos de salida	Potencia	7,5	kW
	factor de potencia	0,95	
	Eficiencia	96%	
	Sobrecarga	150% por 60s cada 300s	
	Tipo de control	Vector	
		FCC	
V/F			
Entradas/Salidas	Entradas Digitales	6	
	Salidas Digitales	3	
	Entradas Analógicas	2	
	Salidas Analógicas	2	
Datos Mecánicos	Ancho	275	mm
	Alto	520	mm
	Profundidad	245	mm
	Peso	16	kg
	Framesize	D	
	Grado de Protección	IP20	

Tabla 3.3. Características técnicas de Variador Micromaster 440

En el sistema que ese está proponiendo es que se implemente un PLC Logo Soft para controlar y programar los tiempos de funcionamiento y con esto disminuir la carga de trabajo hacia los motores, el PLC que se va instalar va a lograr que las bomba tengan un tiempo de funcionamiento de acuerdo a la demanda, esto va a establecer que por ejemplo en un sistema de bombeo compuesto por dos bombas en paralelo, es que en algún momento las 2 bombas operen si la demanda lo requiere para mantener la presión constante y en otro momento cuando la demanda lo requiera solo una

La implementación del PLC va a traer consigo otros beneficios que con lleva a las bombas ya que la exigencia de trabajo no va hacer tanta va a ver relevos en el nuevo sistema de trabajo

El PLC implementado para llevar a cabo las tareas de control del sistema es el PLC Logo de Siemens. El entorno de programación para dicho PLC se conoce como Siemens Logosoft Comfort.

SISTEMA DE CONTROL

Para coordinar el nuevo funcionamiento del sistema y así cumplir con los requerimientos de control se instala un PLC que está a cargo de las siguientes tareas:

- Funcionamiento alternado de bombas: cada bomba funciona como bomba principal por 1 semana.
- Funcionamiento emergente de bombas: cuando la demanda de caudal se incrementa, la bomba auxiliar debe ingresar al sistema.
- Alarma de bomba en vacío: mediante un equipo externo que monitorea el nivel de líquido en el cabezal de la bomba se previene que la bomba se ejecute en seco.
- Alarma de nivel de líquido en la toma bajo: Mediante detectores de nivel discreto se conoce si el nivel de agua almacenado para bombeo es suficiente, caso contrario se evita el bombeo.

- Estado de la presión del sistema: se utiliza un panel operador amigable con el usuario para indicar el estado actual del sistema y sus alarmas.
- Reseteo de fallas de variador.

CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Como cerebro del sistema se eligió al PLC Logo de Siemens con los módulos de expansión para entradas/salidas digitales y analógicas como se muestra en el Figura 3.4:

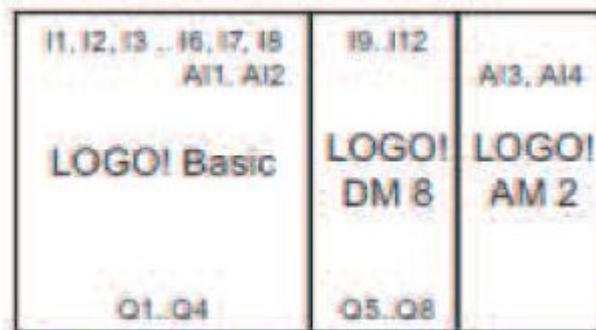


Figura 3.4. Módulos E/S PLC

En la Tabla 3.4 se indica la distribución y función asignada a las entradas y salidas del PLC para un proyecto cualquiera.

	Entradas Digitales	Función	Salidas Digitales	Función
PLC 6ED1052- 1MD00- 0BA6	I1	Manual Bomba1	Q1	Encendido Bomba1
	I2	Automático Bomba1	Q2	Reserva
	I3	Manual Bomba2	Q3	Encendido Bomba2
	I4	Automático Bomba2	Q4	Reserva
	I5	Señal de bomba1 vacío		
	I6	Señal de bomba2 vacío		
	I7	Nivel de agua en cisterna 1		
	I8	Nivel de agua en cisterna 2		
DM8 6ED1055- 1MB00- 0BA1	I9	Falla Variador 1	Q5	Reset Fallas Variadores
	I10	Falla Variador 2	Q6	Ventilador 1
	I11	Sin Conexión	Q7	Ventilador 2
	I12	Sin Conexión	Q8	Sin Conexión
AM2 6ED1055- 1MA00- 0BA0	Entradas Analógicas	Función		
	A13	Transmisor de presión		

Tabla 3.4. Distribución de E/S D/A en el sistema

Características técnicas

El sistema utiliza una fuente de 24 VDC como alimentación. Las características técnicas principales del PLC son las siguientes:

Características Técnicas PLC	
Código	6ED1052-1MD00-0BA6
Tensión de alimentación	12/24VDC
Consumo de corriente	40..100mA @ 24VDC
Respaldo del reloj en tiempo real a 25°C	80 horas
Precisión del reloj	2 s/día
Número de Entradas Digitales	8
Aislamiento galvánico	No
Entradas rápidas	4 (I3, I4, I4, I6)
Frecuencia de entrada normal	Máx 4Hz
Frecuencia de entrada rápida	Máx 5kHz
Señal 0 Lógico	< 5VDC
Señal 1 Lógico	> 8,5 VDC
Número de Salidas digitales	6
Tipo de salida	Relé
Aislamiento galvánico	Sí
Corriente de salida	Máx 10 A por relé
Frecuencia de conmutación mecánica	10 Hz
Dimensiones An x Al x Pr	72 x 90 x 55 mm
Grado de Protección	IP20

Tabla 3.5. Características técnicas LOGO

Un dato importante a tomar en cuenta es que el tiempo de ciclo para el logo según el fabricante es de 0.1 ms, con un tiempo de arranque de 9 s.

El módulo de E/S digitales DM8 es similar en características al PLC con la diferencia de que las salidas tipo relé tienen una capacidad máxima de 5 A.

Respecto del módulo de entradas analógicas, sus características sobresalientes son las siguientes:

LOGO! AM 2	
Fuente de alimentación	
Tensión de entrada	12/24 V DC
Rango admisible	10,8 ... 28,8 V DC
Consumo de corriente	25 ... 50 mA
Compensación de fallos de tensión	Típ. 5 ms
Disipación a	
• 12 V	• 0,3 ... 0,6 W
• 24 V	• 0,6 ... 1,2 W
Aislamiento galvánico	No
Protección contra inversión de polaridad	Si
Borne de puesta a tierra	Para poner a tierra y apantallar el cable de medición analógico
Entradas analógicas	
Cantidad	2
Tipo	Unipolar
Rango de entrada	0 ... 10 V DC (impedancia de entrada 76 k Ω) o 0 ... 20 mA (impedancia de entrada <250 Ω)
Resolución	10 bits, normalizado a 0 ... 1000
Tiempo de ciclo para generar valores analógicos	50 ms
Aislamiento galvánico	No
Longitud de cable (blindado y trenzado)	10 m
Alimentación del encoder	Ninguna
Límite de error	\pm 1,5 %
Supresión de frecuencias perturbadoras	55 Hz

Tabla 3.6. Características Módulo de entradas analógicas

CABLEADO

En la Figura 2.40 se muestra el diagrama de conexiones de las entradas y salidas digitales del PLC. Las entradas utilizan voltaje 24 VDC.

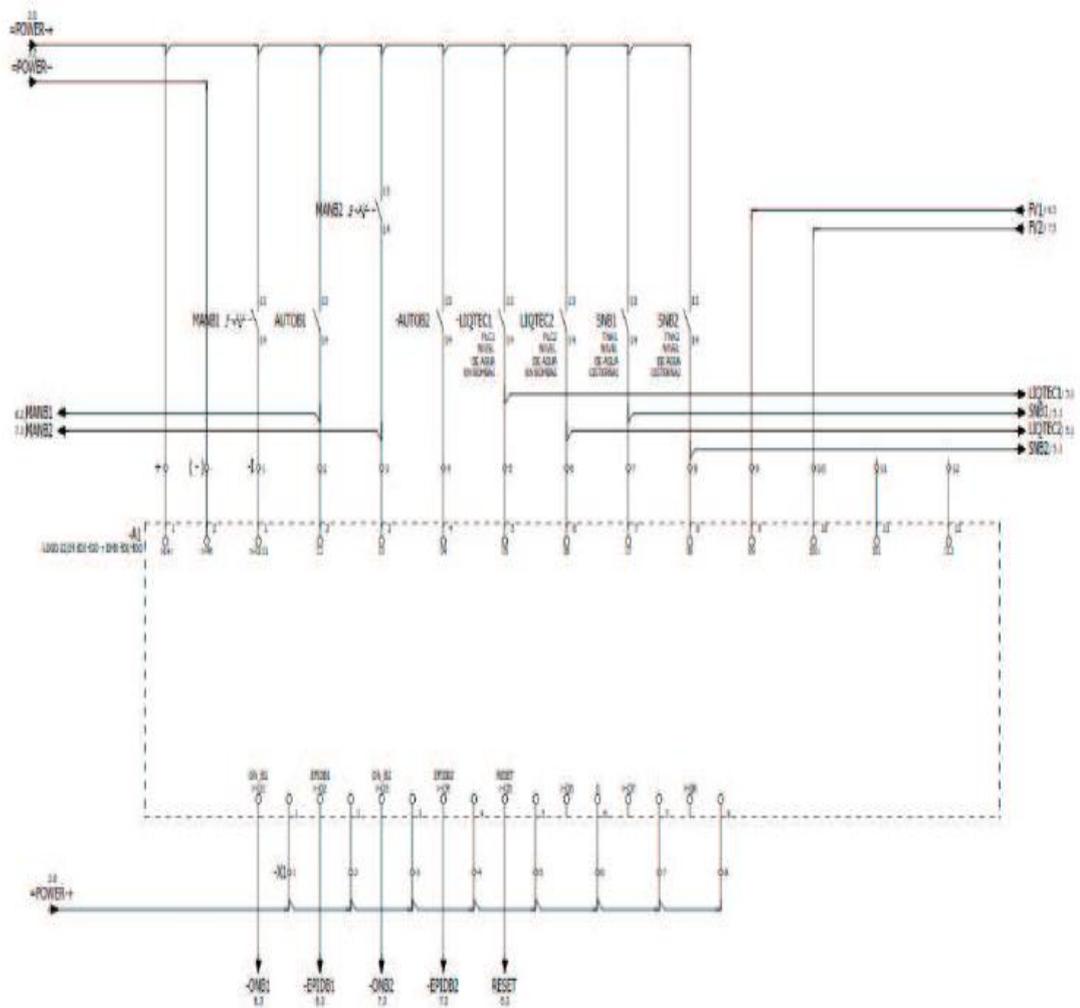


Figura 3.5. Conexión de Entradas Digitales al PLC

Las entradas analógicas en el módulo AM2 se conectan de la siguiente manera:

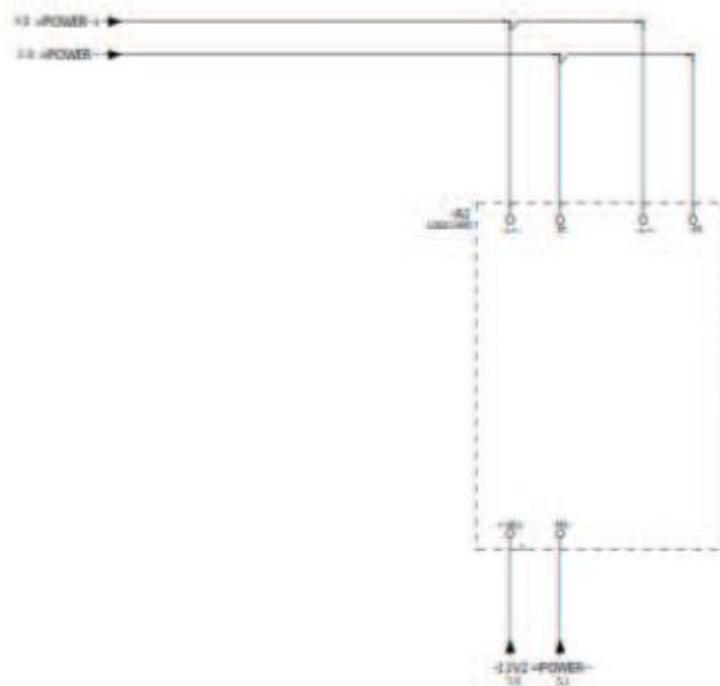


Figura 3.6. Conexión de Entradas Analógicas

En el caso particular del proyecto se utiliza el canal I1 que corresponde a la entrada AI3 en el PLC. La señal es de corriente 4... 20 mA que proviene del transmisor de presión del sistema.

En el caso del variador las conexiones con los bornes de control, en la Tabla 3.7 se muestra las conexiones de hardware realizadas en el variador:

CONFIGURACION ENTRADAS/SALIDAS D/A		
ENTRADA DIGITAL	PIN	FUNCION
DIN1	5	ON/OFF1
DIN3	7	RESET FALLA
SALIDA DIGITAL	PIN	FUNCION
DO1	18/19/20	DRIVE FUNCIONANDO
DO2	21/22	FALLA VARIADOR
ENTRADAS ANALÓGICAS	PIN	FUNCION
ADC1	3/4	RESERVADO
ADC2	10/11	TRANSMISOR DE PRESIÓN

Tabla 3.7. Conexiones Variador.

La conexión del transmisor de presión con los variadores y el módulo AM2 del PLC se indica en la Figura 3.8.

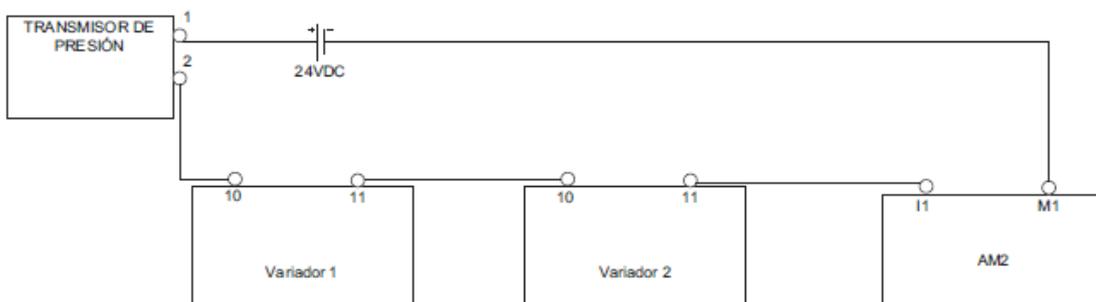


Figura 3.7. Conexión Transmisor – Variadores - PLC

Las características principales del transmisor son las siguientes:

Características técnicas Transmisor de Presión	
Código	7MF1567-4CA00-1GA1/ Siemens
Tensión de alimentación	12...30VDC
Rango de Presión	0 a 150 PSI
Salida	4..20mA
Carga	> 10KOHM
Curva de salida	lineal
Error en medida	0,25% del fondo de escala / 0,5% máximo
Grado de Protección	IP65
Temperatura del proceso	-30 a +120°C
Conexión eléctrica	DIN EN 175301-803-A
Conexión al Proceso	1/2" - 14 NPT macho

Tabla 3.8. Características Principales del Transmisor de Presión

LOGOSOFT

Logosoft es un entorno gráfico de programación sobre la base de Java. Permite la programación, configuración, simulación y diagnóstico en línea del programa. No todas las versiones de PLCs Logo soportan todas las funcionalidades actuales del entorno de programación. No obstante se puede determinar en

línea la versión del PLC Logo utilizado y las funciones que están disponibles para el mismo.

Los programas en Logosoft se pueden escribir en 2 lenguajes a saber: Kop y FUP. El primero permite la programación mediante un esquema de contactos similar al lenguaje ladder comúnmente utilizado entre los autómatas programables. El segundo es un diagrama de funciones similar al lenguaje FBD.

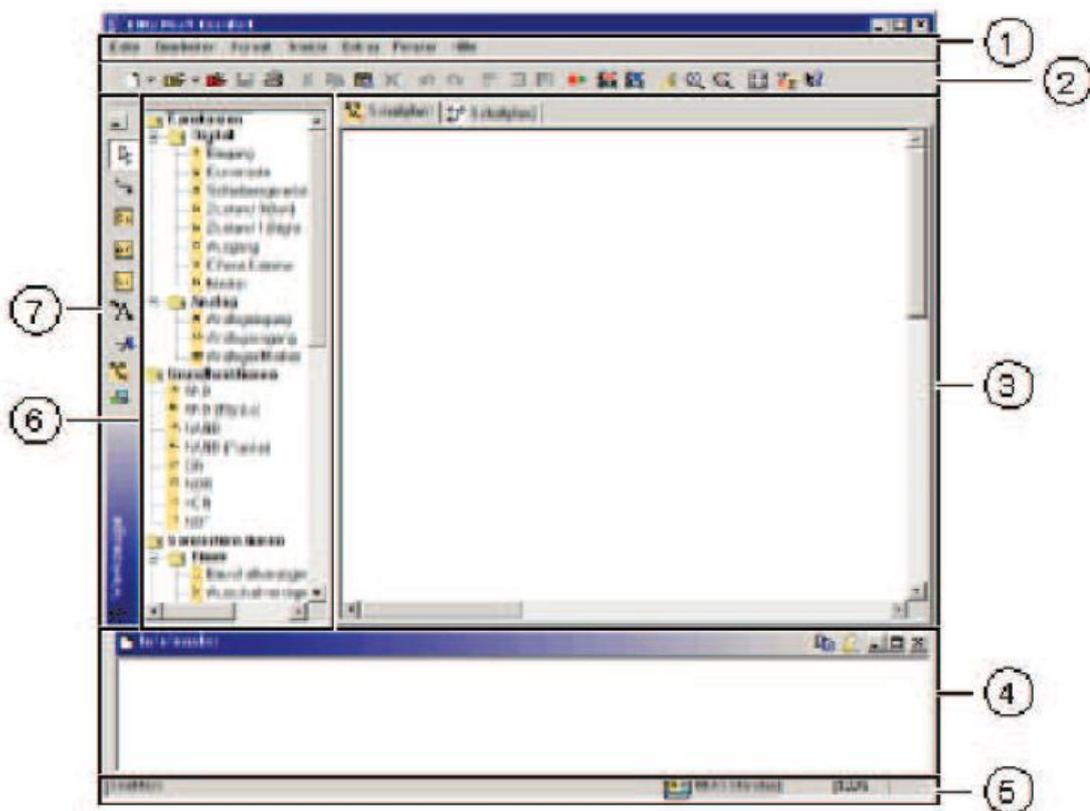


Figura 3.8. Entorno de Programación Logosoft

En la Figura 3.8 se muestra el entorno de programación del Logosoft. Entre las principales partes se tiene:

1. Barras de menús:

2. Barra de herramientas estándar: se encuentran opciones de propósito general como subir programa, descargar programa, start/stop programa, cambiar de KOP a FUP, opciones de alineación etc.
3. Interfaz de programación: es el área de trabajo en la que se escribe el programa.
4. Ventana de información: se indica estado de procesos o errores en el programa.
5. Barra de estado: Indica la versión del PLC.
6. Constantes, conectores, funciones básicas y especiales.
7. Barra de herramientas: contiene botones relacionados a tareas de programación tales como: conectar, ver conectores, ver funciones especiales, insertar comentarios, iniciar simulación, conexión en línea, etc.

Para realizar la descarga del programa al PLC se requiere de un cable de programación USB similar al que se muestra en la Figura 3.9:



Figura 3.9. Cable de Programación Logo USB

CONECTORES Y MARCAS

El término conector se utiliza para designar todas las conexiones y estados del PLC Logo. Se entienden por tanto como conectores, las entradas y salidas

digitales o analógicas. En la siguiente tabla se indica los conectores que el sistema de PLCs Logo dispone:

Conectores	LOGO! Basic / Pure	DM	AM	AM2AQ	
Entradas	LOGO! 230RC/RCo, LOGO! 24 RC/RCo	Dos grupos: I1...I4 e I5...I8	I9...I24	AI...AI8	Ninguna
	LOGO! 12/24RC/RCo, LOGO! 24/24o	I1,I2, I3-I6, I7, I8 AI3,AI4...AI1, AI2	I9 ... I24	AI5...AI8	
Salidas	Q1...Q4		Q5...Q16	Ninguna	AQ1, AQ2
lo	Señales lógicas '0' (off)				
hi	Señales lógicas '1' (on)				
x	Conexión existente no utilizada				

Tabla 3.9. Conectores del PLC Logo.

Los conectores de entrada digital se identifican por la letra I seguida de un número que va del 1 al 24, que corresponde al total de expansión que puede tener el PLC Logo. Por su parte, los conectores de entrada analógica se designan por las letras AI seguidas de un número que va del 1 al 8. Las salidas digitales están designadas por la letra Q, seguida de un número entre el 1 al 16 y las salidas analógicas por las letras AQ. De estas últimas para un sistema Logo cualquiera sólo pueden existir hasta 2, por lo que la numeración está entre el 1 y el 2. La numeración de las distintas entradas y salidas se hace en función del orden de montaje de los módulos. Adicionalmente, también se consideran conectores las teclas de función F1 a F4 del panel Logo TD, los cursores C1 a C4 del panel frontal del PLC.

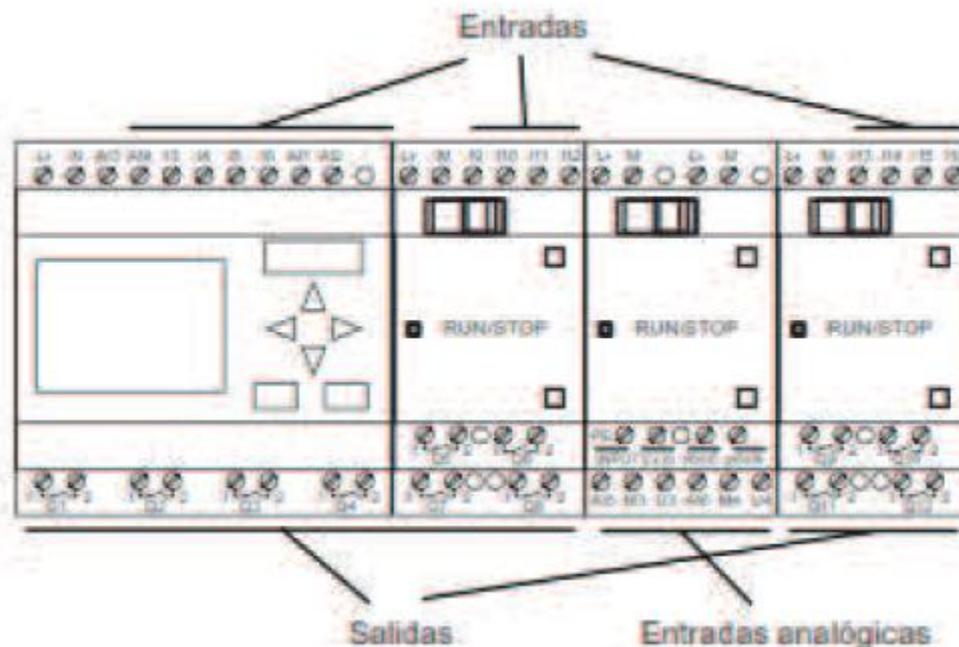


Figura 3.10. PLC Logo y varios módulos.

Las marcas son salidas virtuales que devuelven el valor de sus entradas. Sirven como bloques de memoria, ya que su valor no se modifica dentro del mismo ciclo de programa, por tanto tiene siempre la señal del ciclo anterior. Logo dispone de 27 marcas digitales y 6 analógicas. Existen marcas con funciones especiales pre-asignadas, como la Marca M26 que controla la retroiluminación del panel Logo Td.

Las constantes, por su parte, son señales siempre 1 o 0, pueden ser usadas para habilitar funciones que deban estar siempre en funcionamiento.

CONFIGURACIÓN DEL PLC

La configuración de entradas – salidas del PLC logo está determinada por la posición que ocupan los diferentes módulos al ser montados. Para la presente tesina, el logo utilizado es de la serie 12/24RC, versión 6. La distribución de conectores es la indicada en la siguiente tabla:

	Entradas Digitales	Función	Salidas Digitales	Función
PLC 6ED1052-1MD00-0BA6	I1	Manual Bomba1	Q1	Encendido Bomba1
	I2	Automático Bomba1	Q2	Reserva
	I3	Manual Bomba2	Q3	Encendido Bomba2
	I4	Automático Bomba2	Q4	Reserva
	I5	Señal de bomba1 vacío		
	I6	Señal de bomba2 vacío		
	I7	Nivel de agua en cisterna 1		
	I8	Nivel de agua en cisterna 2		
DM8 6ED1055-1MB00-0BA1	I9	Falla Variador 1	Q5	Reset Fallas Variadores
	I10	Falla Variador 2	Q6	Ventilador 1
	I11	Sin Conexión	Q7	Ventilador 2
	I12	Sin Conexión	Q8	Sin Conexión
AM2 6ED1055-1MA00-0BA0	Entradas Analógicas	Función		
	A13	Transmisor de presión		

Tabla 3.10. Mapa de Entradas/Salidas Digitales/Análogas del PLC

El módulo analógico interpreta la señal eléctrica de corriente de sensor haciendo una conversión Análoga Digital. Por defecto, Logo transformará de manera interna los valores de 4 a 20 mA del transmisor en valores enteros de 200 a 1000. Este valor se conoce como valor normalizado y puede ser visualizado en la pantalla de Logo o mediante el software.

Para poder visualizar y trabajar con un valor proporcional al medido por el transmisor de presión, se requiere transformar el valor normalizado obtenido internamente por el PLC. Para esto, los bloques de funciones analógicas permiten aplicar un valor de ganancia y offset al valor normalizado, de la siguiente manera:

$$Valor_{analógico} = Valor_{normalizado}Gain + offset \quad \text{Ec. 3.1}$$

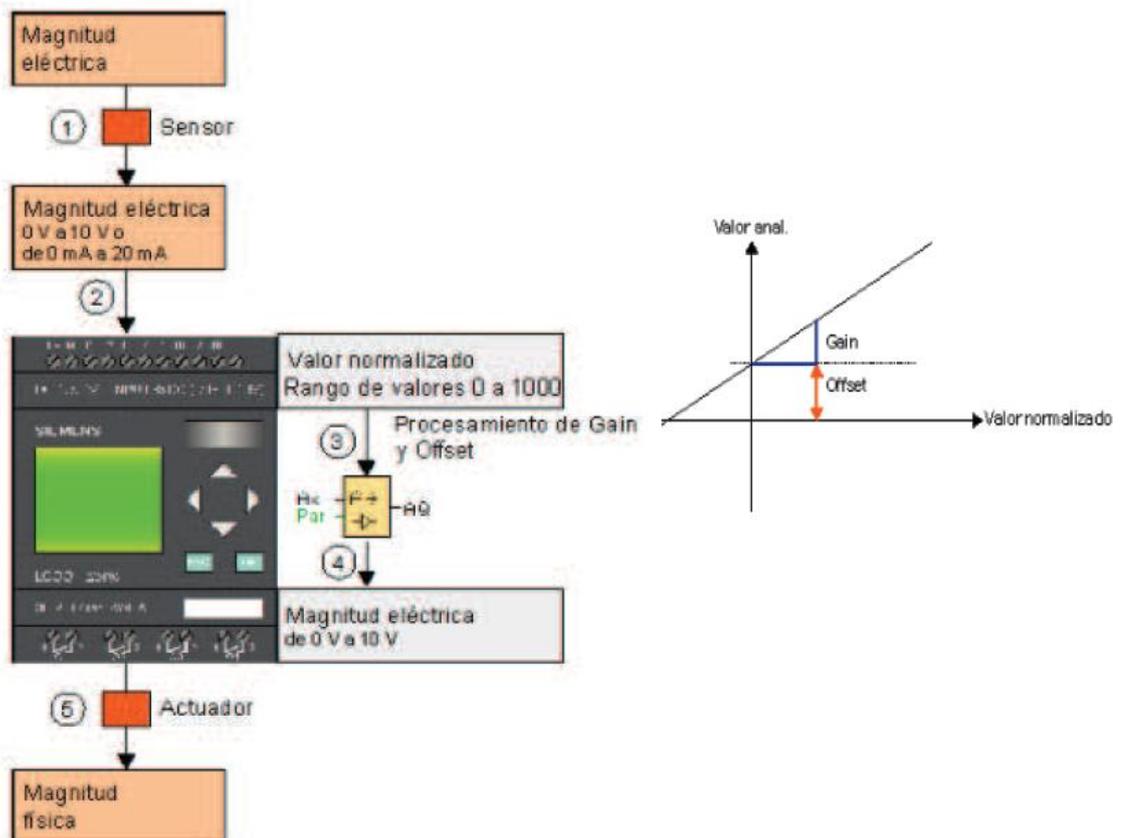


Figura 3.11. Proceso de conversión Análoga Digital del Logo.

Dado que el transmisor de presión convierte una señal de 0 a 150 psi en una salida de corriente de 4 a 20 mA, para poder indicar dicho valor en unidades de ingeniería (PSI) se realiza el ajuste del valor normalizado (200 a 1000), mediante la Ec. 3.1. O utilizando el asistente de configuración del bloque de función análoga. En cualquier caso, se debe recordar que Logo utiliza únicamente valores enteros para sus cálculos de ahí que se obtienen los siguientes valores:

$$Gain = 0.18$$

$$Offset = -36$$

Para cuando el valor normalizado es de 1000, se obtiene reemplazando en Ec. 3.1.

$$1000 * 0.18 - 36 = 144$$

En la Figura 3.12 se muestra la configuración del conmutador analógico de valor umbral utilizado en el programa del PLC. El valor analógico obtenido de acuerdo a los parámetros indicados es el que se utiliza para indicar en la pantalla de Texto (Logo TD), el valor de presión actual del sistema.

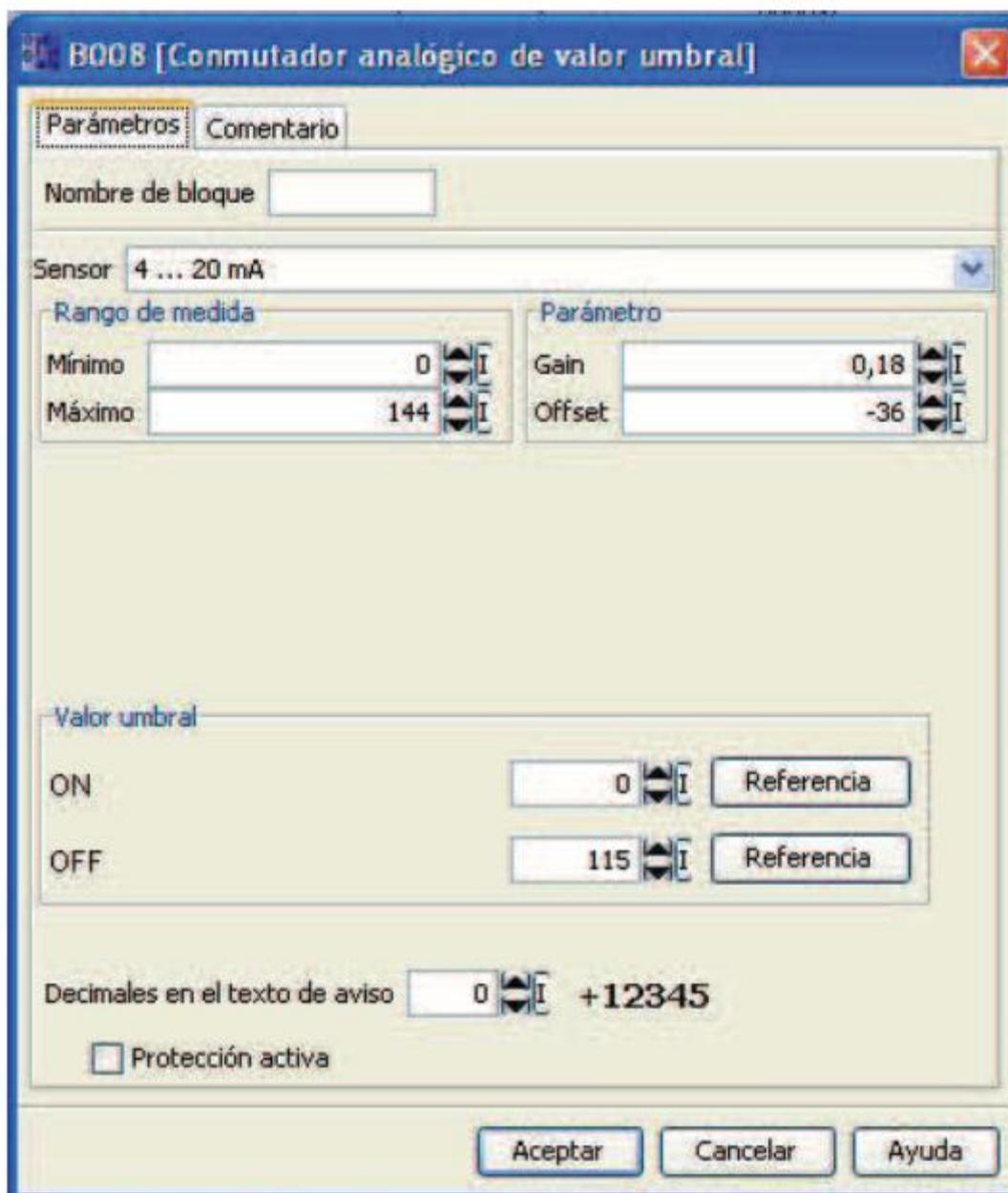


Figura 3.12. Configuración Valor analógico del transmisor

El rango de medida queda en los valores indicados en la figura, debido a que LOGO realiza cálculos aritméticos enteros únicamente. Por tanto no acepta como valor máximo el de 150. Esta es una limitación propia del equipo.

PROGRAMA Y DIAGRAMA DE FLUJO

El PLC está encargado de coordinar el funcionamiento de los variadores del sistema de presión constante. Las diferentes acciones que el PLC decida se toman en función del estado actual del sistema. Para esto, se utiliza la señal del transmisor de presión, la señal del Liqtec para conocer el nivel de líquido en el cabezal de la bomba y la señal de un flotador para conocer el nivel de líquido de la cisterna de alimentación.

Con el juego de señales antes indicadas, el PLC puede activar la bomba principal para la operación normal del sistema. Si la bomba principal, su variador o nivel de líquido en reservorio fallaran, se debe encender la bomba auxiliar.

Cuando existe despresurización excesiva en el sistema debida al consumo, será necesario encender ambas bombas para poder compensar el consumo excesivo por parte de edificación. De igual manera, si se activa alguna señal de protección de bomba, quedará operando la bomba que no tenga dicho problema.

Ejemplo en caso de que la presión del sistema suba más de 125 psi, se desconectarán las bombas inmediatamente y serán reactivadas cuando la demanda de agua sea requerida nuevamente.

En la Figura 3.13 se indica el diagrama de flujo antes descrito.

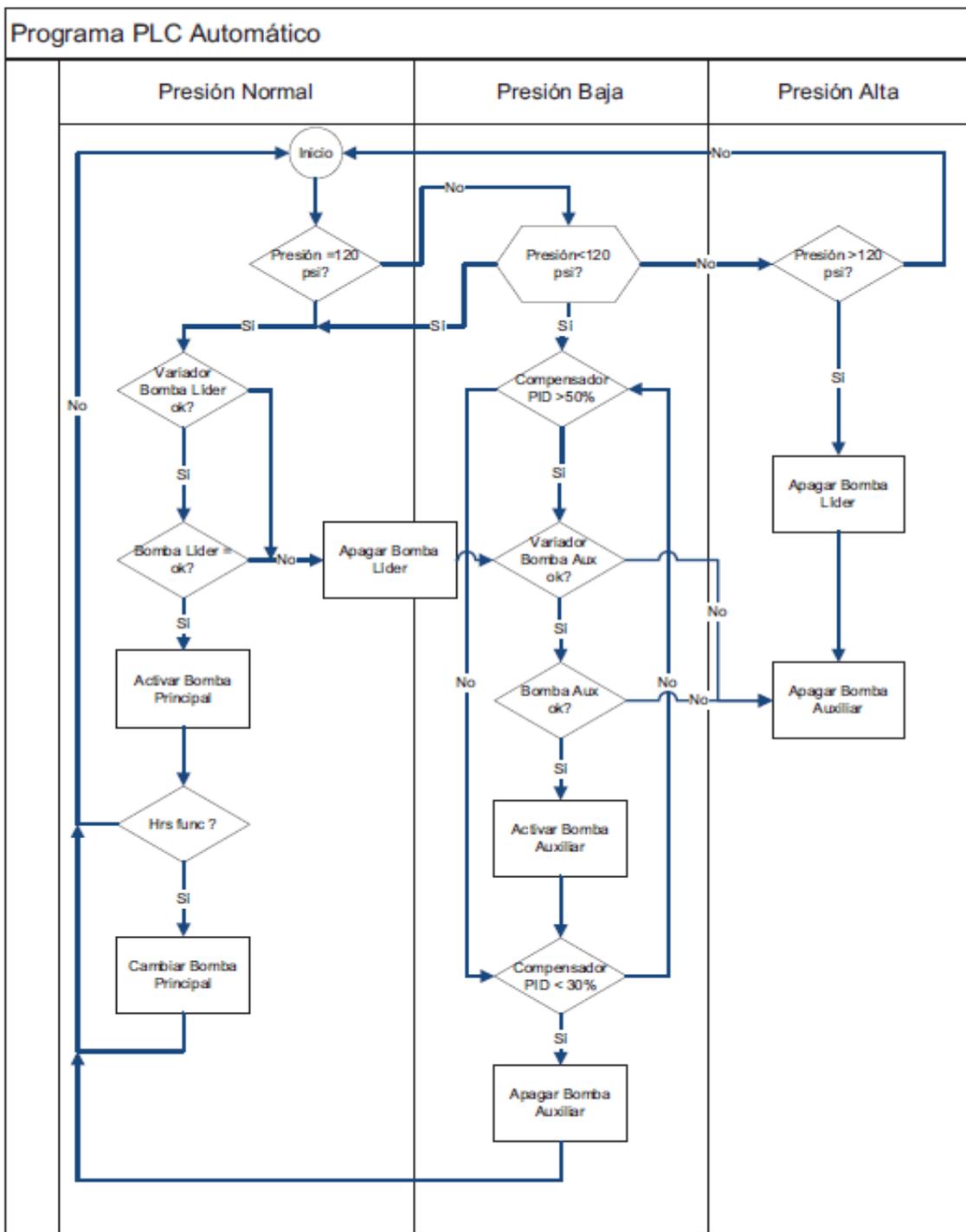


Figura 3.13. Diagrama de Flujo PLC

El encendido y apagado de la bomba auxiliar debido a cambios en la presión del sistema se obtiene revisando el valor de compensación calculado por el bloque B003 (regulador proporcional – integral). La consigna fija tiene un valor de 115 psi, y la señal de retroalimentación está conectada al transmisor de

presión del sistema en la entrada analógica AI3. Los valores usados para las ganancias y proporcional son los valores que por defecto tiene el Logo.

La salida del bloque regulador PI produce un valor de 0 a 1000 que se puede conectar a una salida analógica, convirtiendo la señal en un valor de 0 a 10 Vdc. En el caso particular del programa, la señal no se conecta a ninguna salida analógica, sino que es comparada. Cuando el valor de la salida del bloque B003 es mayor que 50%, se encenderá la bomba auxiliar. Ésta permanecerá encendida hasta que el valor disminuya a menos de 30%. La ventaja principal de utilizar el regulador PI es que permite encender la bomba auxiliar de manera dinámica atendiendo al requerimiento de los consumidores. De esta manera la bomba auxiliar se enciende atendiendo despresurizaciones de 20 psi cuando mucho, manteniendo la presión constante y sacando de operación la bomba auxiliar de manera dinámica previniendo cavitación cuando la presión es mantenida con una sola bomba.

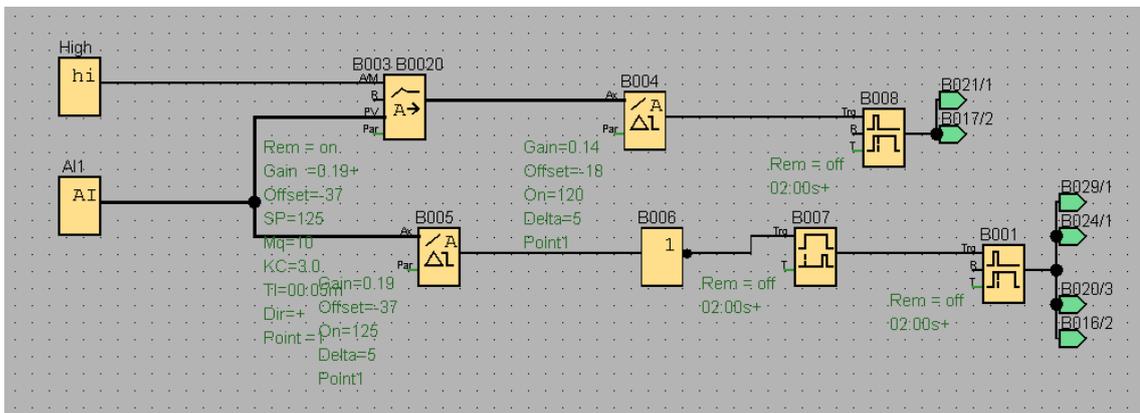


Figura 3.14. Activación de Bomba Auxiliar

El programa realizado utiliza el lenguaje FUP con los bloques de funciones especiales para cumplir con los requisitos del programa. Por ejemplo, para llevar a cabo la conmutación semanal de las bombas se utiliza el bloque de función conocido como temporizador semanal. Este bloque se configura para dar una salida tipo pulso cada domingo a las 22:30 hrs. La salida se utiliza para cambiar el valor de tres contadores. Dependiendo del valor se activará la bomba 1 o 2 y el ciclo se repite al resetear los contadores.

En la Figura 3.16 se puede ver parte del código implementado en el PLC.

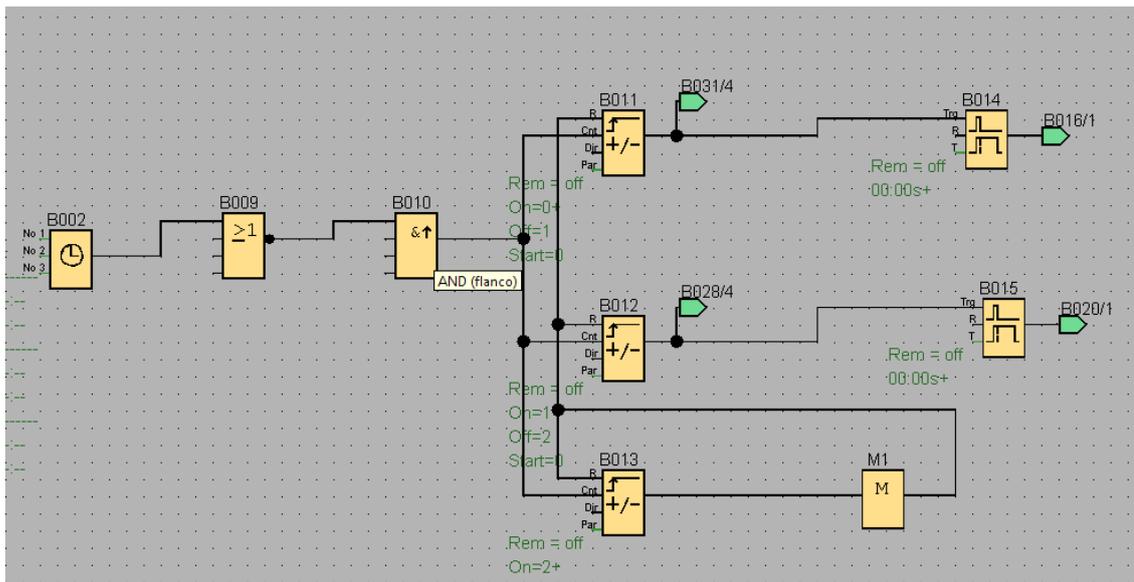


Figura 3.15. Parte del programa implementado en el PLC

El código indicado tiene relación con el funcionamiento alternado de los variadores y la respuesta a eventos de fallas mecánicas y eléctricas del sistema.

3.3. Comparación de los Hallazgos

Los hallazgos comparados con el sistema anterior son los siguientes:

- Se implementó una programación de trabajo de acuerdo a la demanda requerida para mantener una presión constante, en el sistema anterior las bombas trabajaban en conjunto o una por una pero de manera manual lo que hacía difícil la tarea de mantener la presión constante
- Se hizo la programación del tiempo de trabajo de las bombas aprovechando su ciclo al máximo y con esto llevando un control de que bomba trabajo más y que bomba menos
- En el PLC se añadió texto de avisos ante posibles fallas del sistema para poder abordar el problema
- Se obtuvo un ahorro energético al tener el sistema funcionando de la manera y forma que se requieren

- Este nuevo sistema si cumple con la demanda de agua y la presión requerida por el cliente

3.4. Interpretación de resultados

Dado que el tablero elaborado es un sistema que combina la electrónica de potencia de los variadores de frecuencia, para actuar sobre las bombas instaladas, con el mando dictado por el PLC, que coordina el funcionamiento general del sistema, es necesario realizar un proceso de pruebas que va desde la verificación de conexiones eléctricas hasta la respuesta dinámica del sistema frente a perturbaciones.

En general las pruebas son divididas en 3 partes:

- Pruebas Generales Eléctricas
- Pruebas Lógicas
- Pruebas de Desempeño Dinámico

PRUEBAS GENERALES ELÉCTRICAS

Con el Tablero ensamblado se procede a realizar la conexión de la alimentación trifásica principal, la misma que será conectada al interruptor termomagnético principal del tablero. Se toman lecturas de los valores de tensión trifásica. El voltaje medido es de 218 Vac, que está dentro del rango.

Se procede ahora a verificar el estado de los fusibles rápidos así como de los fusibles de control. Los fusibles rápidos se instalan en los seccionadores trifásicos mientras que los fusibles de control se instalan en sus respectivas borneras portafusibles y se procede a energizar el tablero. Se constata los niveles de tensión en potencia y control. La tensión de control obtenida mediante la fuente es estable con un valor de 24VDC. También se verifica el encendido normal de los variadores y el PLC. No existen fusibles quemados ni cortocircuitos. Se configura, finalmente, los niveles de vigilancia del supervisor

de tensión instalado en 200 Vac para desconexión por bajo voltaje y 240 por sobre voltaje.

Nuevamente se desconecta el tablero, para realizar la conexión segura de los cables motor - variador. Se verifica que el diámetro del cable utilizado por los motores sea el adecuado. Para esto se puede utilizar como referencia la información proporcionada por el fabricante del variador, quien indica que se puede utilizar como máximo un cable 2 AWG y como mínimo cable 8 AWG.

También se verifica que la longitud del cable esté dentro del rango permitido para operación sin reactancia de salida. La longitud motor variador es menor a 100 m.

Se revisa la conexión eléctrica en los motores de las bombas de acuerdo a la información indicada por el fabricante de las mismas. Esta información se indica en la Figura 3.9.

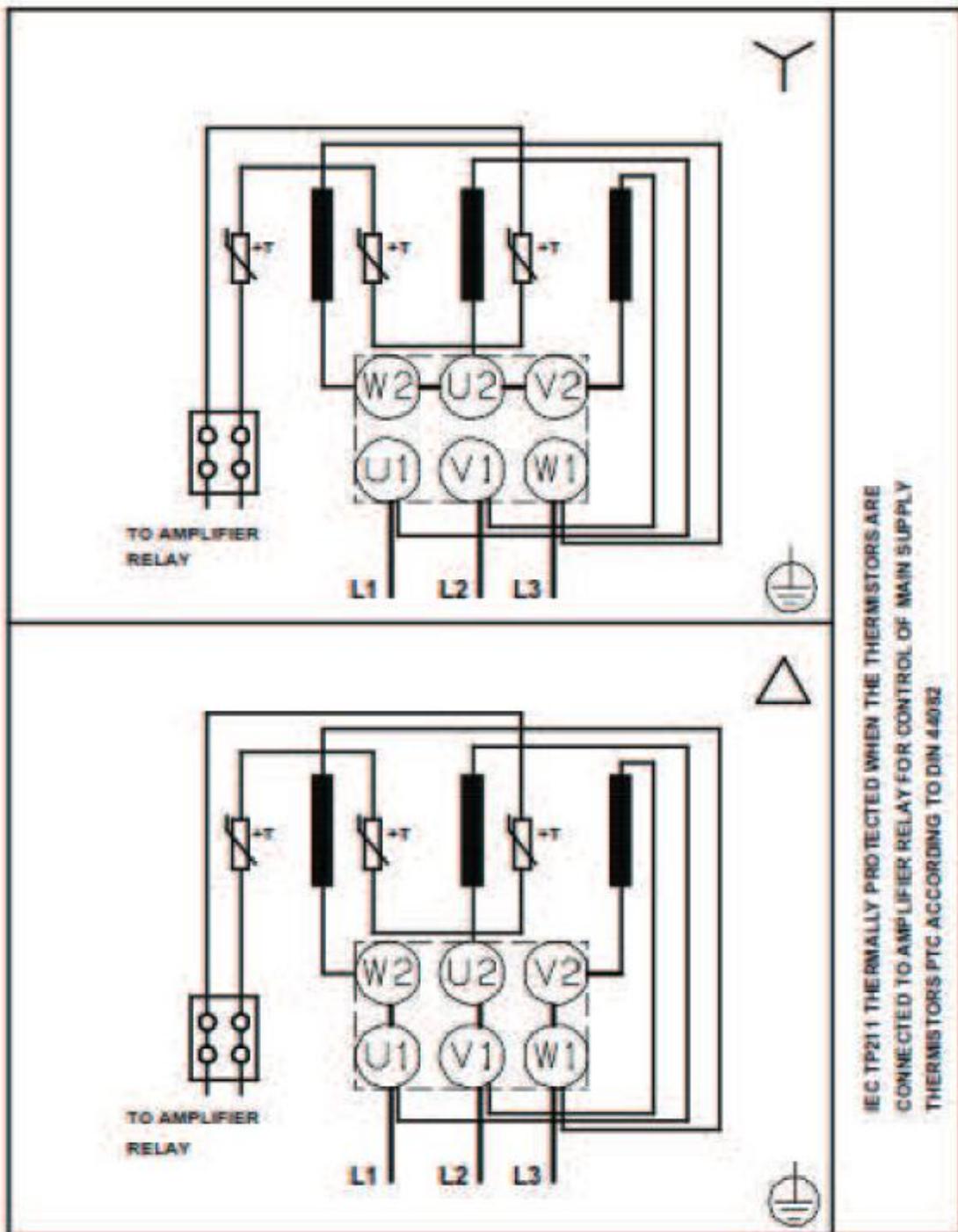


Figura 3.16. Conexión Eléctrica Motor Bomba

Dado que la operación de los motores se realiza a 220 Vac, la conexión es en Delta. En esta etapa se aprovecha para verificar la instalación del conductor de Tierra tanto para el motor como para el variador.

Se procede a energizar el tablero para establecer la conexión de programación del variador a través de Starter. Se Verifica que los parámetros del motor coincidan con los datos de placa del mismo y se hace girar al motor a una frecuencia lo suficientemente baja para poder apreciar a simple vista el sentido de giro de la aspa del ventilador y así poder revisar que el sentido de giro de las bombas sea el correcto. Se corrige el cableado de las bombas para asegurar el giro en el sentido correcto.

Ahora se identifican y conectan en sus respectivas borneras, las señales externas de control tales como: nivel bajo de cisterna, nivel bajo de líquido en la bomba, paro de emergencia auxiliar, y transmisor de presión. Se verifica la conexión en serie del transmisor de presión hacia los 2 variadores y el PLC. El valor transmitido debe ser visible en cada uno de los dispositivos sin mayor atenuación de la señal. Para terminar se revisa nuevamente las interconexiones del tablero, verificando el cableado correcto y respuesta de las entradas/ salidas digitales y analógicas tanto del variador como del PLC: Dicha verificación se la realiza con el multímetro y con la ayuda de las herramientas de diagnóstico del PLC y del variador.

Como resultado de las pruebas eléctricas, se puede concluir que el tablero con el PLC implementado se encuentra en condiciones apropiadas para el funcionamiento. Al operar los variadores con carga, los interruptores ferromagnéticos no se disparan y las corrientes observadas son cerca a los valores nominales. El sentido de giro de las bombas es el correcto y el sistema se presuriza. Los niveles de voltaje son aceptables, y la operación eléctrica de los diferentes equipos es la esperada.

PRUEBAS LÓGICAS O DE PROGRAMA

De acuerdo al diagrama de flujo de programa establecido se procede a realizar la programación del PLC. El diagrama sirve de guía para cumplir con los requerimientos de funcionamiento del sistema de manera organizada.

En la Tabla 3.2 se resume el comportamiento esperado por parte del PLC frente a eventos como despresurización, sobrepresión y fallas posibles del

sistema mecánico como son: bomba en vacío y nivel insuficiente de líquido en la cisterna o pozo. El valor de 1 corresponde a Encendido y el valor 0 a apagado.

	Variables de Entrada											Variables de Salida		Sistema
	AI3	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	Q1	Q3	
	Presión	Manual Bomba1	Automático Bomba1	Manual Bomba2	Automático Bomba2	Nivel Bajo Bomba1	Nivel Bajo Bomba2	Nivel Bajo Cisterna 1	Nivel Bajo Cisterna 2	Falla Variador 1	Falla Variador 2	Variador 1	Variador 2	
	x	x	x	x	x	0	0	0	0	1	1	off	off	Inoperable
Automático	Subpresión	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	off	on	Falla Variador1 activa
		0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	on	off	Falla Variador2 activa
		0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	off	on	Nivel bajo bomba 1
		0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	on	off	Nivel bajo bomba 2
		0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	off	on	Cisterna 1 baja
		0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	on	off	Cisterna 2 baja
		0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	on	on	Estado Normal
	Sobrepresión	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	off	off	Estado Normal
Normal	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	on/off	on/off	Altemado	
Manual	X	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	on	off	Manual
	X	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	off	on	Manual
	X	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	on	on	Manual

Tabla 3.11. Tabla de Observación del PLC

Para verificar el funcionamiento del programa del PLC se simula el comportamiento del PLC con el software LogoSoft, aplicando las condiciones indicadas en la tabla. Luego se procede a verificar el comportamiento de manera física generando las condiciones de funcionamiento apropiadas alternado el estado de las entradas digitales y analógicas.

Por ejemplo, en la Figura 3.18 se indica el comportamiento esperado del PLC frente a la condición de despresurización del sistema debido a decebamiento de la bomba 1. Las condiciones iniciales de la simulación son: bomba 1 líder y presión menor a 120 psi.



Figura 3.17. Simulación PLC

Al descebarse la bomba 1, debe arrancar inmediatamente la bomba 2, para mantener la presión constante. La bomba 1 no puede ingresar hasta que sea cebada correctamente previniendo daños en la misma por operación en seco.

Naturalmente, debe observarse que para condiciones de sobredemanda de caudal, el funcionamiento de una sola bomba no puede ser suficiente.

Como resultado de las pruebas, el programa de control escrito en el PLC cumple con los requerimientos indicados en la Tabla 3.3. Se verifica el funcionamiento correcto en la coordinación de bombas cuando se dan procesos de lavado, que demandan mucho caudal por parte del sistema, manteniendo éste la presión constante. El arranque de la bomba auxiliar en casos de falla de la bomba principal también ha sido verificado con éxito.

PRUEBA DE DESEMPEÑO DINÁMICA

La evaluación de la respuesta del PID se realiza de manera práctica partiendo de los valores calculados por el sistema de auto sintonización del variador. Esta optimización de parámetros se hizo inicialmente regulando el caudal de retorno de líquido por medio de una válvula de mariposa.

La respuesta de los variadores a los cambios de la presión del sistema depende de la configuración de dicha señal. Así por ejemplo, valores bajos o nulos del tiempo de filtrado del canal analógico pueden originar que transitorios muy rápidos (10ms o menos) de la señal e incluso ruido pongan en falla al equipo. Esto se debe a que un cambio en la señal de realimentación puede obligar a frenar el motor sobrecargando el bus de DC disparando una falla en el variador. Este tipo de falla se elimina al poner un adecuado tiempo de filtro en la señal analógica, permitiendo una operación estable del variador.

Para evaluar la respuesta PID del variador se utiliza el programa Starter, en donde se declara una tabla de observación de señales de interés. Sin embargo, el tiempo de registro de variables es normalmente mayor a 1 segundo debido a que dicho tiempo ofrece el programa para la observación de variables en línea por medio de la comunicación serial. Los datos obtenidos mediante esta tabla fueron los siguientes:

Tiempo	Feedback	Feedback	Error PID	Valor de Salida de PID	Frecuencia de Salida	Corriente de Salida Variador	Valor de consigna
s	%	mA	%	%	Hz	A	%
Parámetro	r2272	r752[1]	r2273	r2294	r24	r27	r2260
0	81,8359	17,1450	0,3723	95,4590	57,9900	16,9100	82,5988
2	82,8125	17,1066	-0,2136	96,9482	58,2200	17,2000	82,5988
9	17,2363	6,2952	65,8508	100,0000	11,4205	3,2550	82,5988
17	7,0313	4,5357	75,5676	100,0000	1,9579	8,1439	82,5988
26	22,2160	7,4400	60,3820	50,0000	29,9900	6,6060	82,5988
34	33,3984	9,8300	48,4192	69,2870	41,4599	11,3631	82,5988
42	70,7031	15,4839	12,4817	94,4275	55,6823	15,5191	82,5988
51	80,8594	16,5787	1,1536	90,7227	55,2569	14,7504	82,5988
59	82,2266	16,8320	-0,4089	88,5986	54,5866	12,7324	82,5988
67	79,8800	16,9500	2,5208	97,6013	58,4360	17,4410	82,5988
75	81,8359	17,1457	0,7629	99,1089	58,9404	17,9695	82,5988
84	82,6172	17,1848	0,1770	98,7122	58,9593	17,8254	82,5988
92	82,8125	17,1652	-0,2136	97,7478	58,5598	17,6332	82,5988
99	82,6172	17,1652	-0,0183	97,8149	58,6898	17,6332	82,5988
108	82,4219	17,2043	-0,0183	97,8272	58,7300	17,6813	82,5988
116	82,6172	17,1848	-0,0183	97,8272	58,7081	17,5852	82,5988

Tabla 3.12 Tabla de observación realizada en Starter

La Tabla 3.4 corresponde a los datos observados mediante comunicación serial en el variador 1 de la bomba 1 frente a una despresurización del sistema.

Con estos datos es posible realizar curvas que permiten observar el desempeño del variador 1 frente una pérdida de presión del sistema. Los datos fueron tomados con el sistema funcionando, apagando los variadores durante unos pocos segundos para permitir la caída de presión en el sistema.

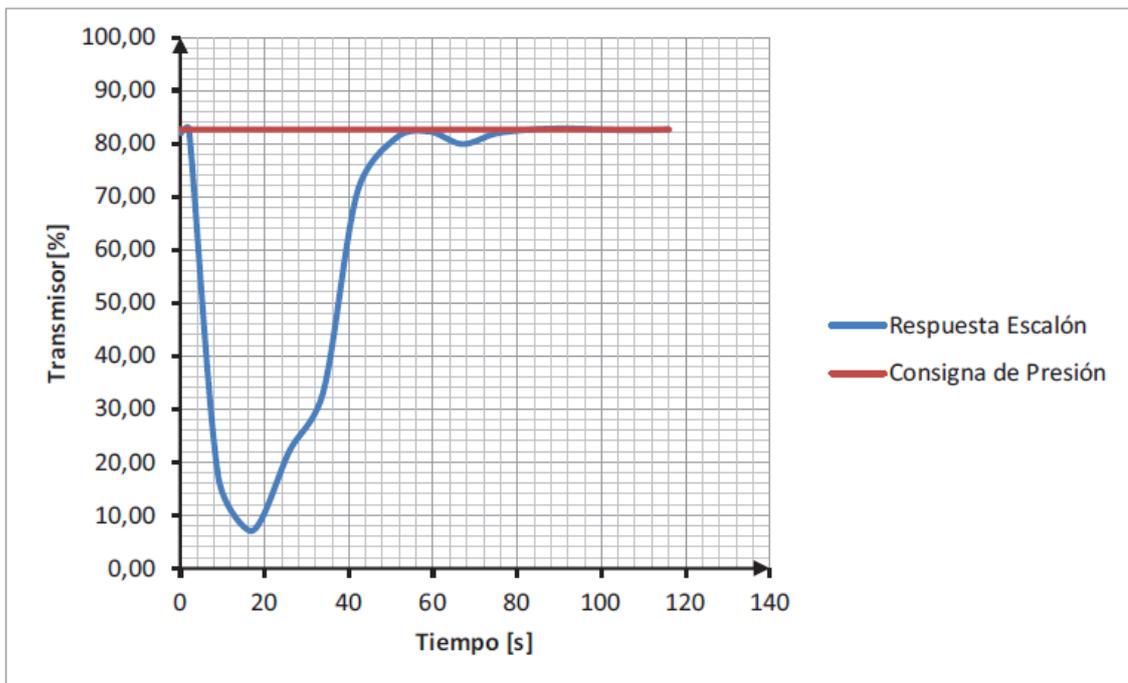


Figura 3.18 Respuesta escalón del variador 1

Como puede observarse en la Figura 3.18, la respuesta no tiene sobre pico y con el paso del tiempo, el error se reduce a 0. Esto es, la presión del sistema se ha recuperado y está constante. El tiempo de respuesta también es adecuado para el sistema, ya que se recupera el nivel de presión y las máquinas homogeneizadora y pasteurizadora no sienten ningún inconveniente durante la pérdida de presión.

Para evaluar la respuesta dinámica tanto de la bomba 1 como la 2 se utiliza el PLC. Mediante la observación en línea del bloque B003, bloque de regulación PI, utilizado para integrar la bomba auxiliar en caso de despresurización, se

puede obtener la siguiente respuesta escalón a una transición de pérdida de presión.

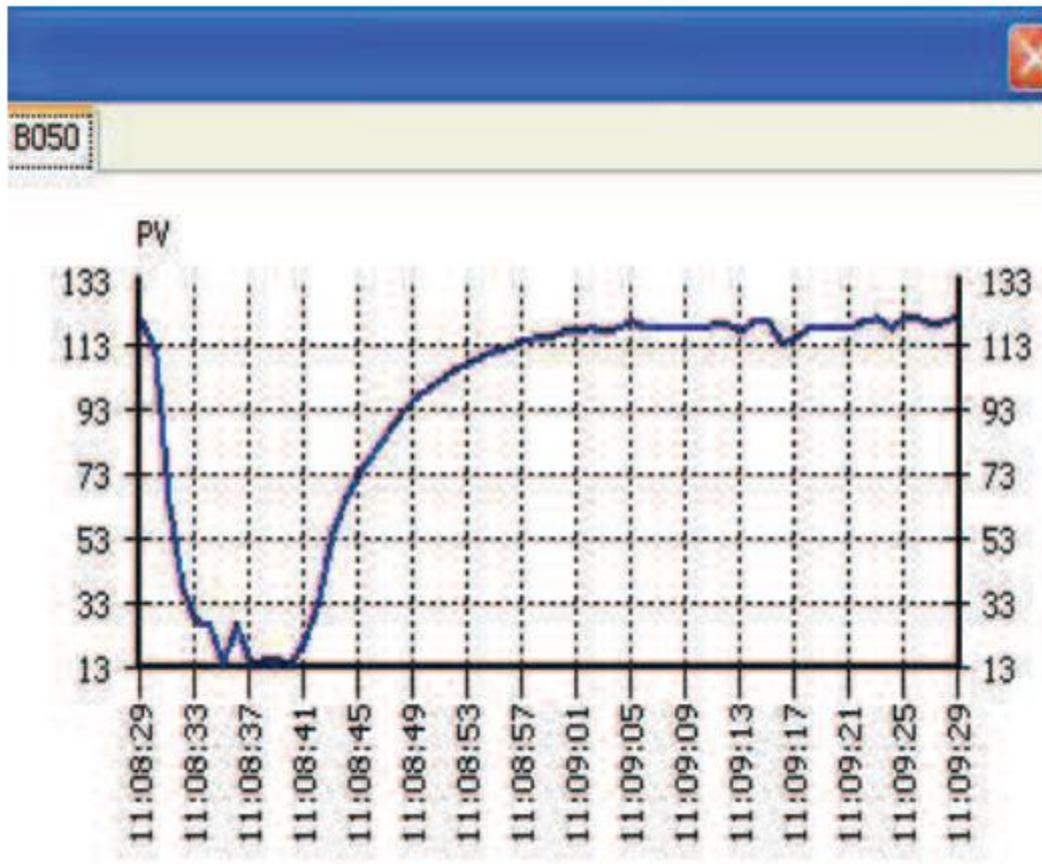


Figura 3.19. Respuesta Escalón Sistema

La Figura 3.19 muestra la reacción del sistema en modo automático frente a la despresurización del sistema. Esta es la respuesta obtenida al encender automáticamente y con éxito tanto la bomba 1 y 2 para compensar el error de presión. El gráfico indica el valor de presión medido por el transmisor en unidades de ingeniería (psi). De esta figura se puede observar que el tiempo de recuperación del sistema es de aproximadamente 24 segundos, con ausencia de sobre pico que es adecuado para la operación del sistema.

CONCLUSIONES

1. El sistema programado y configurado permite mantener la presión constante para el consumo de agua de los que residen en los edificios familiares, con un tiempo de recuperación adecuado para las necesidades de los clientes.
2. El programa del PLC cumple con los objetivos propuestos de alternancia y seguridad de bombas, por lo que el sistema tiene suficiente robustez frente a eventos de parada.
3. En caso de falla de una bomba o un variador en momentos de alta demanda, la presión no puede ser sostenida por una sola bomba por mucho tiempo.
4. El voltaje de alimentación a los variadores de frecuencia ha de ser lo más constante posible. Cambios o interrupciones bruscas en el suministro eléctrico pueden afectar la correcta operación del variador, identificando dichos eventos con fallas.
5. El sistema no tiene ningún tipo de interrupción en su operación ya sea que uno de sus componentes este fallando y por completo se evita el frenado de las bombas
6. Los sistemas de automatización con PLC permiten facilitar las tareas de control de un sistema, al permitir codificar la secuencia lógica de operación del mismo así como indicar al operador su estado haciendo uso de interfaces adecuadas.

RECOMENDACIONES

1. Es recomendable trabajar con motores de aislamiento clase F debido a que los picos altos de voltaje que emite el variador desgastan de manera rápida el aislamiento de motores de clase inferior, acelerando el deterioro de los mismos.
2. Se recomienda el uso de cables apantallados para las señales de control e instrumentación ya que ayudan a mitigar los efectos adversos de las interferencias electromagnéticas generadas por otros equipos.
3. Se recomienda realizar el mantenimiento preventivo del motor eléctrico de las bombas para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema variador – motor.
4. Es recomendable realizar el mantenimiento mecánico de la bomba para asegurar un funcionamiento adecuado de la misma y sustituirla convenientemente cuando su vida útil haya sido consumida.
5. Se debe revisar cada 6 meses el estado del transmisor de presión ya que su continuo contacto con el agua deteriora el asiento del mismo, lo que lo vuelve con el pasar del tiempo insensible a los cambios de presión. De ser el caso se debe sustituir el transmisor de presión o instalar filtros, especialmente si existen partículas en suspensión con el líquido.
6. Es aconsejable revisar los filtros de aire de los ventiladores instalados en el tablero, cada cierto tiempo. Recordar que los variadores requieren de un flujo de aire para enfriar el calentamiento producido por la conmutación de la etapa de potencia.
7. Realizar una limpieza con aire seco del interior de los variadores para evitar la acumulación de polvo en la parte interna del mismo. Esto puede producir recalentamiento de los equipos de potencia y su deterioro.
8. No se debe manipular directamente los terminales DCP y DCN, ya que estos tienen aproximadamente 300 VDC para la alimentación de 220 Vac.

9. Se debe revisar que el funcionamiento de las válvulas check y de pie sea adecuado y el esperado. Una válvula en mal estado puede comprometer el funcionamiento adecuado del sistema
10. Es recomendable que las señales de los cables motor - variador y las señales de control e instrumentación se encuentren convenientemente separadas, ya que los variadores pueden emitir interferencias electromagnéticas que pueden afectar la operación normal del controlador.

Bibliografía

- Frecuencia, V. d. (s.f.). <http://www.fra.utn.edu.ar/>. Recuperado el 29 de Octubre de 2014, de http://www.fra.utn.edu.ar/download/carreras/ingenierias/electrica/materias/plane-studio/quintonivel/electronicaII/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf.
- GRUNDFOS. (2004). Liq Tec 200 240 Installationand operating instructions. Grundfos.
- GRUNDFOS. (2004). Manual de Bombeo de la Industria.
- SIEMENS. (2006). Micromaster 440 0.12 kW- 250 kw Instrucciones de Uso.
- SIEMENS. (2006). Micromaster 440 Lista de Parametros . siemens.
- SIEMENS. (2008). Logo Manual del Producto . Siemens.
- Wekker y Asociados. (Junio de 2004). <http://aducarte.weebly.com/>. Recuperado el 20 de Octubre de 2014, de http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/sistema_hidroneumatico.pdf: <http://aducarte.weebly.com/>

ANEXOS

ANEXO A
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS BOMBAS



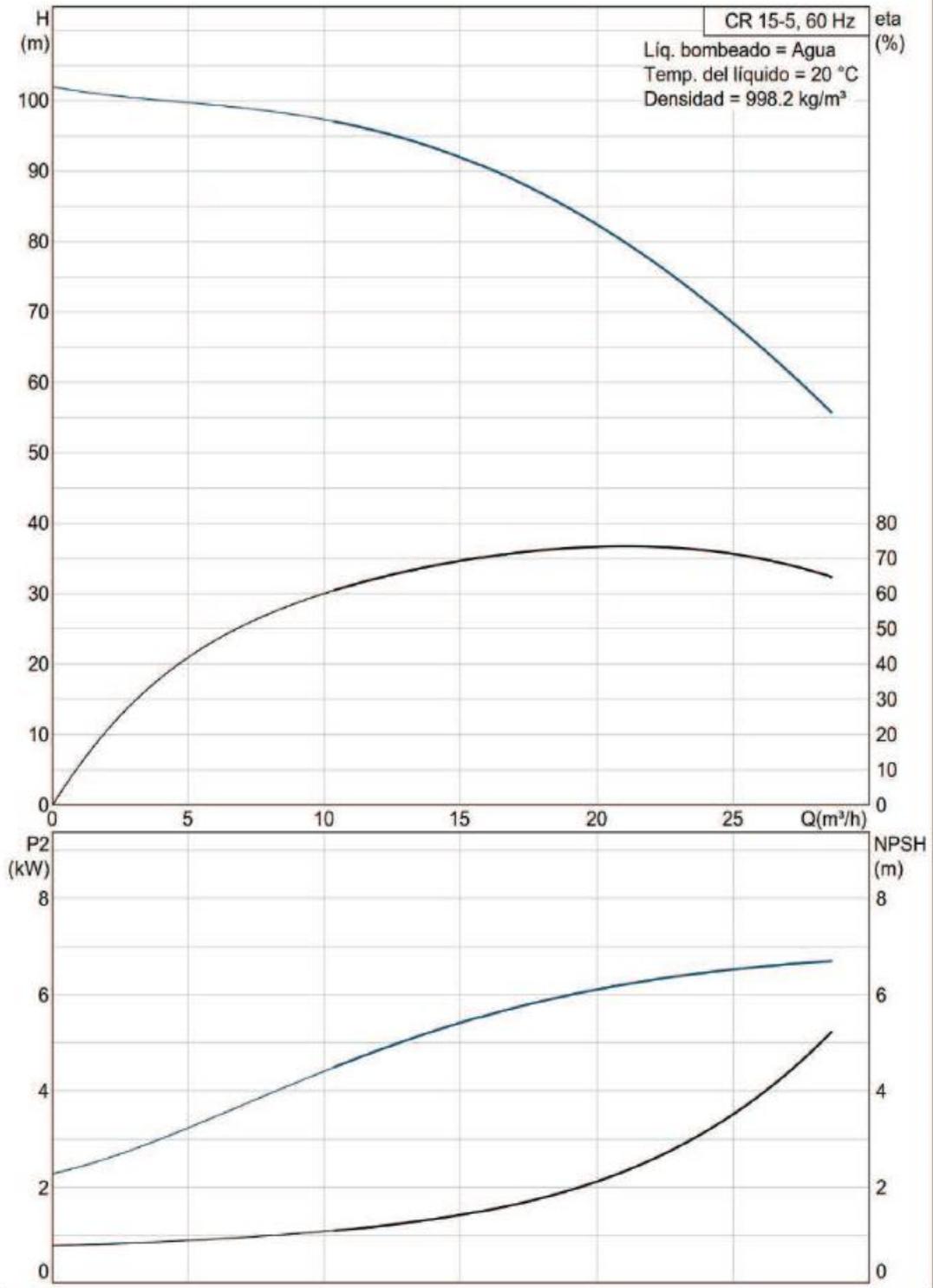
Posición	Contar	Descripción	Precio unit
	1	<p>CR 15-S A-F-A-E-HQQE</p>  <p>Advertir la foto puede diferir del actual producto</p> <p>Código: 96503822</p> <p>Bomba centrífuga vertical, no autocebante, multicelular, en línea para instalación en sistemas de tuberías o montaje en una cimentación.</p> <p>La bomba tiene las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Impulsores y cámaras intermedias de Acero inoxidable DIN W.-Nr. DIN W.-Nr. 1.4301. - Cabezal y base de la bomba de Fundición. - Longitud de montaje del cierre según DIN 24960. - Transmisión de energía mediante acoplamiento ranurado de fundición. - Conexión de tubería mediante bridas DIN. <p>El motor es un motor CA 3-fásico.</p> <p>Líquido:</p> <p>Líquido bombeado: Agua Rango de temperatura del líquido: -20 .. 120 °C Temp. líquido: 20 °C Densidad: 998.2 kg/m³</p> <p>Técnico:</p> <p>Velocidad para datos de bomba: 3525 rpm Caudal nominal: 20.5 m³/h Altura nominal: 81.1 m Cierre: HQQE Homologaciones en placa: CE</p> <p>Materiales:</p> <p>Cuerpo hidráulico: Fundición EN-JL1030 ASTM A48-30 B</p> <p>Impulsor: Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304</p> <p>Instalación:</p> <p>Temperatura ambiental máxima: 60 °C Presión máxima a la temp. declarada: 16 bar / 120 °C</p>	Bajo pedido



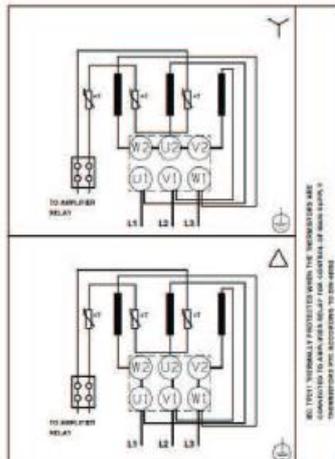
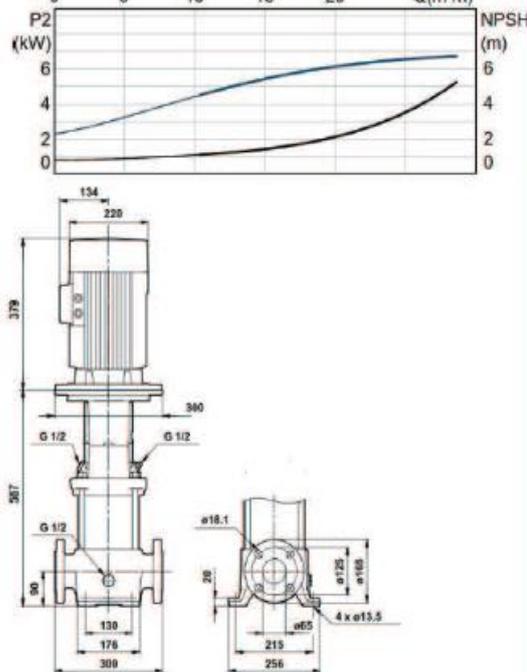
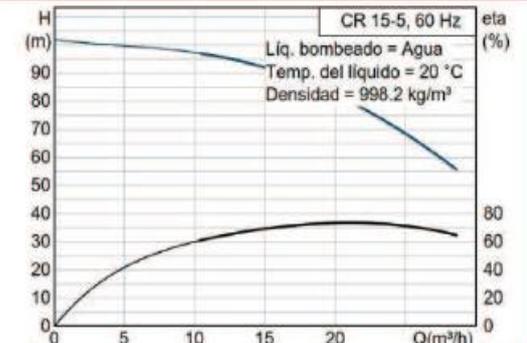
Empresa: INASEL
Creado Por: LENIN FALCONI
Teléfono: -
Fax: -
Datos: -

Posición	Contar	Descripción	Precio unit
		16 bar / -20 °C Tipo de brida: DIN Diámetro de conexiones: DN 50 Presión: PN 16 Tamaño de la brida del motor: FF265 Datos eléctricos: Tipo de motor: 132SB IE Efficiency class: IE2 - IE3 Número de polos: 2 Potencia nominal - P2: 7.5 kW Potencia (P2) requerida por la bomba: 7.5 kW 7.5 kW Frecuencia de alimentación: 60 Hz Tensión nominal: 3 x 220-277 D/380-480 Y V Corriente nominal: 24,6-20,8/14,2-12,0 A Intensidad de arranque: 680-1050 % Cos phi - Factor de potencia: 0,90-0,82 Velocidad nominal: 3490-3530 rpm IE efficiency: IE2 89,5% - IE3 90,2% Grado de protección (IEC 34-5): 55 (Protect. water jets/dust) Clase de aislamiento (IEC 85): F Otros: Peso neto: 102 kg Peso bruto: 124 kg Volumen: 0.43 m3	

96503822 CR 15-5 60 Hz



Descripción	Valor
Código:	CR 15-5 A-F-A-E-HQQE 96503822 5700396277851
Técnico:	
Velocidad para datos de bomba:	3525 rpm
Caudal nominal:	20.5 m³/h
Altura nominal:	81.1 m
Altura máxima:	102 m
Impulsores:	05
Cierre:	HQQE
Homologaciones en placa:	CE
Tipo de bomba:	CR 15
Etapas:	05
Versión de la bomba:	A
Modelo:	A
Materiales:	
Cuerpo hidráulico:	Fundición EN-JL 1030
Impulsor:	Acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304
Código de material:	A
Código para caucho:	E
Instalación:	
Temperatura ambiental máxima:	60 °C
Presión máxima a la temp. declarada:	16 bar / 120 °C
	16 bar / -20 °C
Tipo de brida:	DIN
Código de conexión:	F
Diámetro de conexiones:	DN 50
Presión:	PN 16
Tamaño de la brida del motor:	FF265
Líquido:	
Líquido bombeado:	Agua
Rango de temperatura del líquido:	-20 .. 120 °C
Temp. líquido:	20 °C
Densidad:	998.2 kg/m³
Datos eléctricos:	
Tipo de motor:	132SB
IE Efficiency class:	IE2 - IE3
Número de polos:	2
Potencia nominal - P2:	7.5 kW
Potencia (P2) requerida por la bomba:	7.5 kW
	7.5 kW
Frecuencia de alimentación:	60 Hz
Tensión nominal:	3 x 220-277 D/380-480 Y V
Corriente nominal:	24,6-20,8/14,2-12,0 A
Intensidad de arranque:	680-1050 %
Cos phi - Factor de potencia:	0,90-0,82
Velocidad nominal:	3490-3530 rpm
IE efficiency:	IE2 89,5% - IE3 90,2%
Grado de protección (IEC 34-5):	55 (Protect. water jets/dust)
Clase de aislamiento (IEC 85):	F
Protección del motor:	PTC
Motor N°:	85U07522
Otros:	
Peso neto:	102 kg

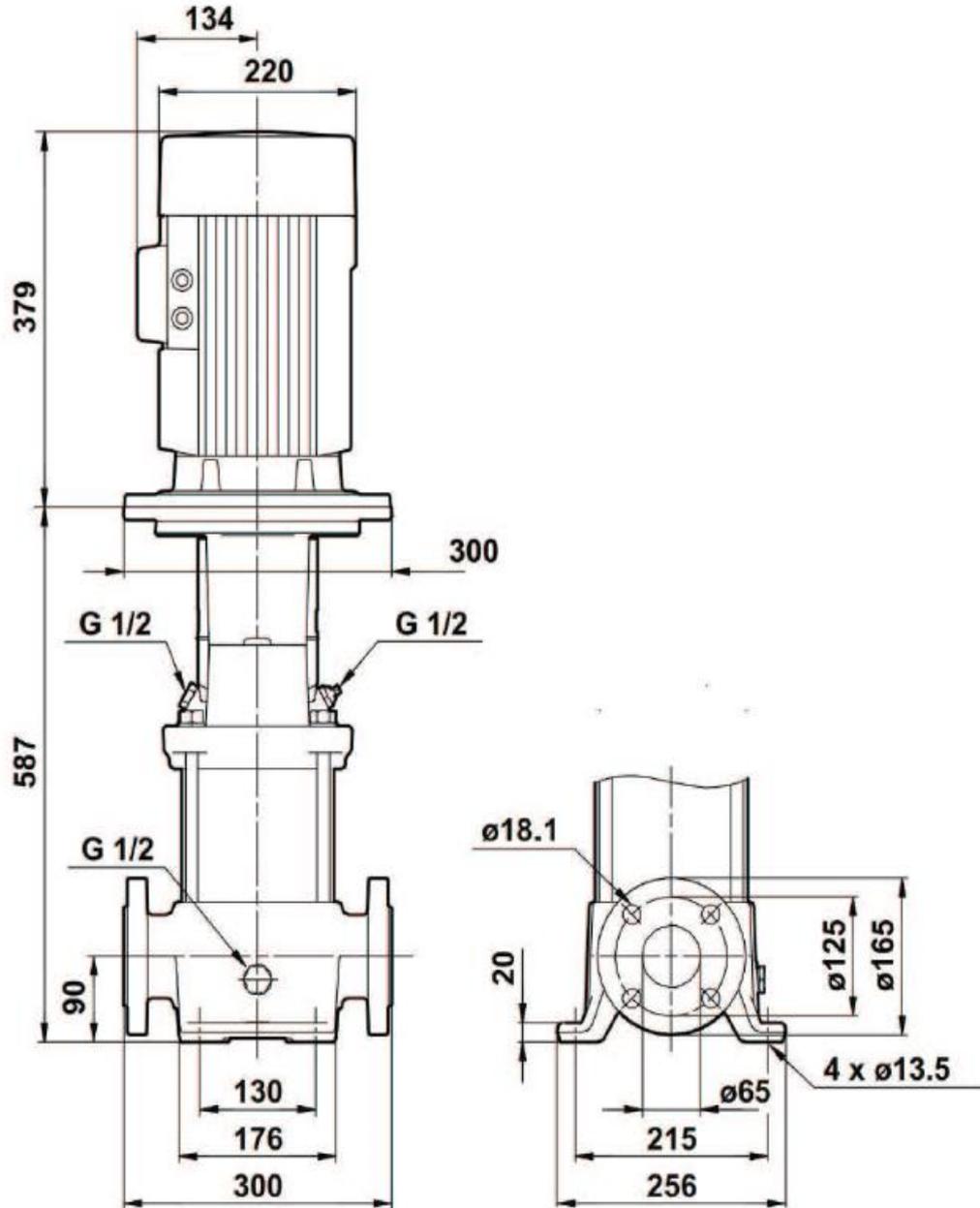




Empresa: INASEL
Creado Por: LENIN FALCONI
Teléfono: -
Fax: -
Datos: -

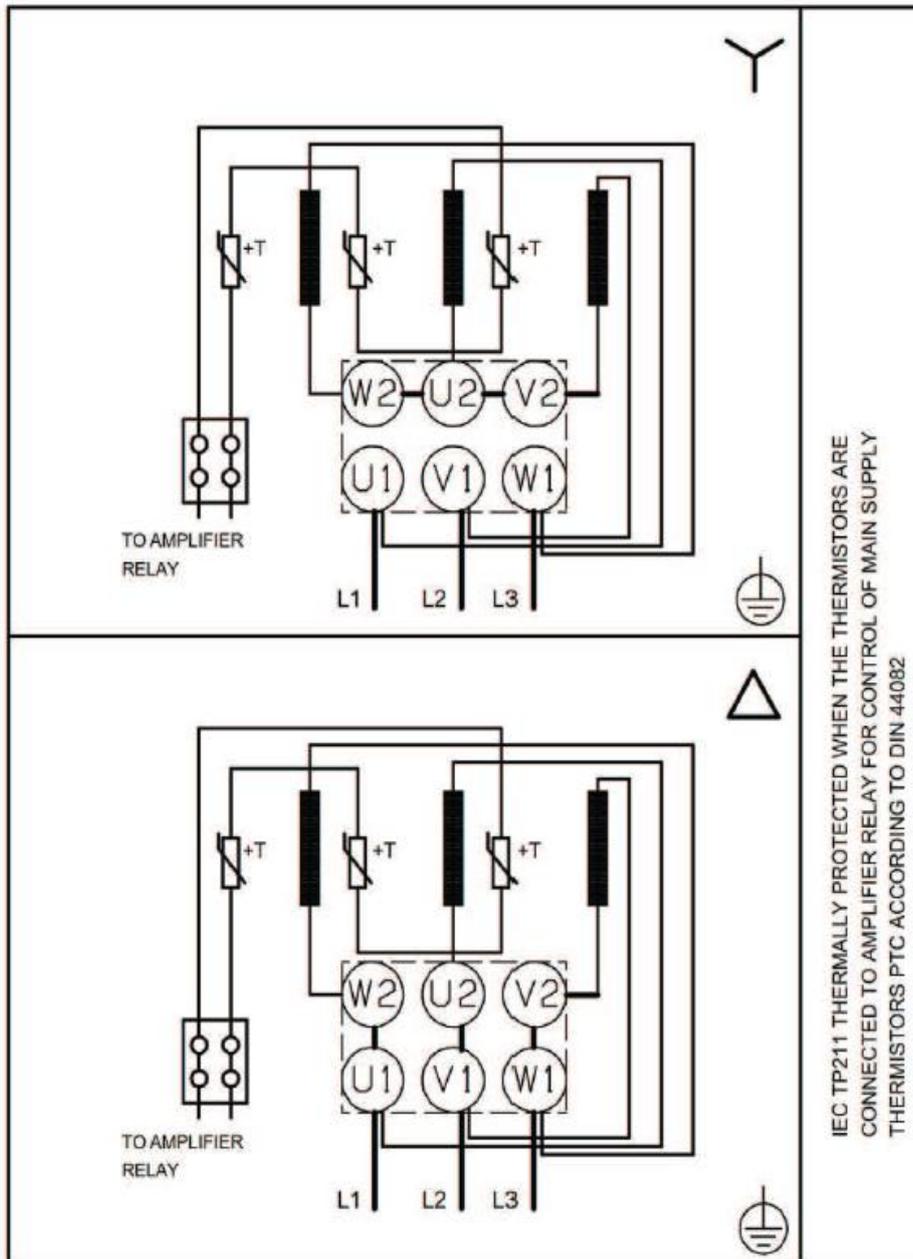
Descripción	Valor
Peso bruto:	124 kg
Volumen:	0.43 m3

96503822 CR 15-5 60 Hz



Nota: Todas las unidades están en [mm] a menos que se establezcan otras.

96503822 CR 15-5 60 Hz



IEC TP211 THERMALLY PROTECTED WHEN THE THERMISTORS ARE CONNECTED TO AMPLIFIER RELAY FOR CONTROL OF MAIN SUPPLY THERMISTORS PTC ACCORDING TO DIN 44082

¡Nota! Uds en [mm] a menos que otras estén expresadas



Empresa: INASEL
Creado Por: LENIN FALCONI
Teléfono: -
Fax: -
Datos: -

Dados da encomenda:

CR 15-5 A-F-A-E-HQQE

Cantidad: 1

Código prod.: 96503822

Total: Precio bajo pedido

ANEXO B
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PLC LOGO

SIEMENS

hoja de datos del producto

6ED1052-1MD00-0BA6


LOGO!12/24RC,MOD. LOGICO,DISPL. AL/E/S:
 12/24V DC/RELE,
 8ED (4EA)/4SD, MEM. 200 BLOQUES,
 AMPLIABLE MODULARMENTE

Diseño/montaje	
Montaje	sobre perfil normalizado de 35 mm, 4 módulos de ancho
Tensión de alimentación	
12 V DC	Sí
24 V DC	Sí
Rango admisible, límite inferior (DC)	10,8 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Hora	
Programadores horario.	
Number of time switches / integrated / maximum	
Cantidad	8
Reserva de marcha	80 h
Entradas digitales	

Cantidad/entradas binarias	8 ; de ellas, 4 aptas como E analógicas (0 a 10 V)
Salidas digitales	
Número/salidas binarias	4 ; Relé
Funcionalidad/resistencia a cortocircuitos	No ; requiere protección externa
Salidas de relé	
Poder de corte de los contactos	
con carga inductiva, máx.	3 A
Poder de corte/contactos/con carga resistiva/máximo	10 A
CEM	
Emisión de radiointerferencias según EN 55 011	
Emisión de perturbaciones radioeléctricas según EN 55 011 (clase B)	Si
Grado de protección y clase de protección	
IP20	Si
Normas, homologaciones, certificados	
Homologación CSA	Si
Homologación UL	Si
Homologación FM	Si
Homologaciones navales	Si
Desarrollado según IEC 61131	Si
según VDE 0631	Si
Condiciones ambientales	
Temperatura de empleo	
mín.	0 °C
máx.	55 °C
Dimensiones	
Anchura	72 mm
Altura	90 mm
Profundidad	55 mm
Última actualización	02-nov-2012

SIEMENS

hoja de datos del producto

6ED1055-1MB00-0BA1


LOGO! DM8 12/24R MOD. AMPLIAC.,
AL/E/S: 12, 24V/12V/24V/RELE, 2 MOD.,
4 ED/ 4 SD

Diseño/montaje	
Montaje	sobre perfil normalizado de 35 mm, 2 módulos de ancho
Tensión de alimentación	
12 V DC	Sí
24 V DC	Sí
Rango admisible, límite inferior (DC)	10,8 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Entradas digitales	
Cantidad/entradas binarias	4
Tensión de entrada	
Tipo de tensión de entrada	DC
Salidas digitales	
Número/salidas binarias	4 ; Relé

Funcionalidad/resistencia a cortocircuitos	No ; requiere protección externa
Intensidad de salida	
para señal "1" valor nominal	5 A
Salidas de relé	
Poder de corte de los contactos	
con carga inductiva, máx.	3 A
Poder de corte/contactos/con carga resistiva/máximo	5 A
CEM	
Emisión de radiointerferencias según EN 55 011	
Emisión de perturbaciones radioeléctricas según EN 55 011 (clase B)	Sí
Grado de protección y clase de protección	
IP20	Sí
Normas, homologaciones, certificados	
Homologación CSA	Sí
Homologación UL	Sí
Homologación FM	Sí
Homologaciones navales	Sí
Desarrollado según IEC 61131	Sí
según VDE 0631	Sí
Condiciones ambientales	
Temperatura de empleo	
mín.	0 °C
máx.	55 °C
Dimensiones	
Anchura	36 mm ; 2 mód.
Altura	90 mm
Profundidad	55 mm
Última actualización	02-nov-2012

SIEMENS

hoja de datos del producto

6ED1055-1MA00-0BA0


LOGO! AM2 MOD. AMPLIACION,
AL: DC 12/24V, 2 EA, 0 - 10V O 0 - 20MA

Diseño/montaje	
Montaje	sobre perfil normalizado de 35 mm, 2 módulos de ancho
Tensión de alimentación	
12 V DC	Sí
24 V DC	Sí
Entradas analógicas	
Nº de entradas analógicas	2
Rangos de entrada	
Tensión	Sí
Intensidad	Sí
Rangos de entrada (valores nominales), tensiones	
0 a +10 V	Sí
Rangos de entrada (valores nominales), intensidades	

0 a 20 mA	Sí
CEM	
Emisión de radiointerferencias según EN 55 011	
Emisión de perturbaciones radioeléctricas según EN 55 011 (clase B)	Sí
Grado de protección y clase de protección	
IP20	Sí
Normas, homologaciones, certificados	
Homologación CSA	Sí
Homologación UL	Sí
Homologación FM	Sí
Homologaciones navales	Sí
Desarrollado según IEC 61131	Sí
según VDE 0631	Sí
Condiciones ambientales	
Temperatura de empleo	
mín.	0 °C
máx.	55 °C
Dimensiones	
Anchura	36 mm
Altura	90 mm
Profundidad	55 mm
Última actualización	02-nov-2012

ANEXO C
CARACTERÍSTICAS DE LOS VARIADORES

Tabla 5-1 Características del MICROMASTER 440

Característica		Especificación
Tensión de red y Márgenes de potencia		1 AC 200 a 240 V \pm 10 % CT: 0,12 kW – 3,0 kW (0,16 hp – 4,0 hp) 3 AC 200 a 240 V \pm 10 % CT: 0,12 kW – 45,0 kW (0,16 hp – 60,0 hp) VT: 5,50 kW – 45,0 kW (7,50 hp – 60,0 hp) 3 AC 380 a 480 V \pm 10 % CT: 0,37 kW – 200 kW (0,50 hp – 268 hp) VT: 7,50 kW – 250 kW (10,0 hp – 335 hp) 3 AC 500 a 600 V \pm 10 % CT: 0,75 kW – 75,0 kW (1,00 hp – 100 hp) VT: 1,50 kW – 90,0 kW (2,00 hp – 120 hp)
Frecuencia de entrada		47 a 63 Hz
Frecuencia de salida		0 Hz a 650 Hz
Factor de potencia		\geq 0,7
Rendimiento del convertidor		Tamaños constructivos A hasta F 96 a 97 % Tamaños constructivos Fx y GX 97 a 98 %
Capacidad de sobrecarga	Par constante (CT)	Tamaños constructivos A hasta F: 1,5 x dimensión de la corriente de salida (es decir, 150 % de sobrecarga) durante 60 seg., tiempo de ciclo 300 seg. y 2 x dimensión de la corriente de salida (es decir, 200 % de sobrecarga) durante 3 seg., tiempo de ciclo 300 seg. Tamaños constructivos FX y GX: 1,36 x dimensión de la corriente de salida (es decir, 136 % de sobrecarga) durante 57 seg., tiempo de ciclo 300 seg. y 1,6 x dimensión de la corriente de salida (es decir, 160 % de sobrecarga) durante 3 seg., tiempo de ciclo 300 seg.
	Par variable (VT)	Tamaños constructivos A hasta F: 1,1 x dimensión de la corriente de salida (es decir, 110 % de sobrecarga) durante 60 seg., tiempo de ciclo 300 seg. y 1,4 x dimensión de la corriente de salida (es decir, 140 % de sobrecarga) durante 3 seg., tiempo de ciclo 300 seg. Tamaños constructivos FX y GX: 1,1 x dimensión de la corriente de salida (es decir, 110 % de sobrecarga) durante 59 seg., tiempo de ciclo 300 seg. y 1,5 x dimensión de la corriente de salida (es decir, 150 % de sobrecarga) durante 1 seg., tiempo de ciclo 300 seg.
Corriente de arranque		Inferior a la corriente nominal de entrada
Frecuencia máxima de conexión de la red		Tamaños constructivos A hasta E: cada 30 s Tamaño constructivo F: cada 150 s Tamaños constructivos FX y GX: cada 300 s
Método de control		Control V/f lineal; Control V/f lineal con Flux Current Control (FCC); U Control V/f cuadrático; Control V/f multipunto; Control V/f lineal con modo ECO; Control V/f para aplicaciones textiles; Control V/f con FCC para aplicaciones textiles; Control V/f con consigna de tensión independiente; Sensorless Vector Control; Sensoless Vector Torque Control
Frecuencia de pulsación		Tamaños constructivos: A hasta C: 1/3AC 200 V a 5,5 kW Estándar 16 kHz A hasta F: Potencias y tensiones restantes 2 kHz a 16 kHz, en pasos de 2 kHz Estándar 4 kHz FX y GX: 2 kHz a 4 kHz, en pasos de 2 kHz Estándar VT: 2 kHz, Estándar CT: 4 kHz Reducción de potencia, ver Tabla 5-3
Frecuencias fijas		15, parametrizable
Frecuencias inhibibles		4, parametrizable
Resolución de consigna		0,01 Hz digital, 0,01 Hz serie, 10 bits analógica (potenciómetro motorizado 0.1 Hz [0.1% (en modo PID)])
Entradas digitales		6, parametrizable (libre de potencial), conmutables entre activa con high / activa con low (PNP/NPN)
Entradas analógicas		2, parametrizable, ambas se pueden usar como 7ª y 8ª entradas digitales. 0 V a 10 V, 0 mA a 20 mA y -10 V a +10 V (ADC1) 0 V a 10 V y 0 mA a 20 mA (ADC2)

Característica	Especificación
Salidas de relé	3, parametrizable 30 V DC / 5 A (carga resistiva), 250 V AC 2 A (carga inductiva)
Salida analógica	2, parametrizable (0 a 20 mA)
Interface serie	RS-485, opcionales RS-232
Compatibilidad electromagnética	Tamaños constructivos: A hasta C: como accesorio se puede suministrar un filtro EMV, norma EN55011, clase A, o B A hasta F: se puede suministrar un convertidor con filtro integrado de clase A FX y GX: Con el filtro EMV (se puede suministrar como accesorio) se cumplen los valores límite de EN 55011, clase A para emisiones de interferencias guiadas (se necesita un conmutador estrangulador de corriente)
Frenado	frenado por inyección de corriente continua frenado combinado frenado dinámico Tamaños constructivos A hasta F con estrangulador integrado Tamaños constructivos FX y GX con freno externo
Grado de protección	IP20
Margen de temperatura	Tamaños constructivos A hasta F: -10 °C a +50 °C (14 °F a 122 °F) (CT) -10 °C a +40 °C (14 °F a 104 °F) (VT) Tamaños constructivos FX y GX: 0 °C a +40 °C (32 °F a 104 °F), a 55 °C (131 °F) con reducción de la potencia; véase la Figura 2-2
Temperatura de almacenamiento	-40 °C a +70 °C (-40 °F a 158 °F)
Humedad relativa	< 95 % (sin condensación)
Altitud de operación (sin reducción de potencia)	Tamaños constructivos A hasta F hasta 1000 m sobre el nivel del mar FX y GX hasta 2000 m sobre el nivel del mar
Características de protección	Mínima tensión, sobretensión, sobrecarga, defecto a tierra, cortocircuito, protección basculante, protección de bloqueo del motor, sobretemperatura en motor, sobretemperatura en convertidor, bloqueo de parámetros
Normas	Tamaños constructivos A hasta F UL, cUL, CE, C-tick FX y GX UL, cUL, CE
Marcado CE	de acuerdo con las directivas europeas "Baja tensión" 73/23/CEE y "Compatibilidad electromagnética" 89/336/CEE

SIEMENS

hoja de datos del producto

6SE6440-2UC27-5DA1

nombre del producto

Micromaster 4



MICROMASTER 4 Familie

MICROMASTER 440 SIN FILTRO 3AC200-240V +10/-10% 47-63HZ PAR RES. CONSTANTE 7,5 KW SOBRECARGA 150% 60S, 200% 3S PAR RES. CUADRATICO 11 KW 520 X 275 X 245 (AL X A X P) GRADO DE PROTECCION IP20 TEMP. AMBIENTE -10+50 GRD C SIN PANEL AOP/BOP

Tensión de entrada	230 V
Tensión de salida / máxima	240 V
Tensión de salida / mínima	0 V
factor de potencia	0,95
Rendimiento eta	96
Formato	D
Clase de protección IP	MICROMASTER 440
Condiciones ambientales / temperatura ambiente en servicio	-10° a +40°C (VT) / 50°C (CT)
filtro / [nicht versorgt - Klasse A] / [nicht versorgt - 1AC]	FALSE
clase / de regulación	Vector, FCC, Linear - V/f
Altura	0,52 m
Anchura	0,275 m
Profundidad	0,245 m

 Date:
29.11.2012

 subject to modifications
© Copyright Siemens AG 2012

peso

16 kg

letzte Änderung:

05-nov-2012

ANEXO D
CARACTERÍSTICAS DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN

Medida de presión

Transmisores para requisitos básicos

SITRANS P220 para presión relativa

2

Sinopsis



El transmisor de presión SITRANS P220 mide la presión relativa de líquidos, gases y vapores.

- Célula de medida de acero inoxidable, completamente soldada
- Rangos de medida de 2,5 a 600 bar (36,3 a 8702 psi) relativos
- Para aplicaciones de alta presión y técnica frigorífica

Beneficios

- Alta precisión de medida
- Caja de acero inoxidable robusta
- Alta resistencia a la sobrecarga
- Para fluidos corrosivos y no corrosivos
- Para medir la presión de gases, líquidos y vapores
- Construcción compacta
- Sin junta

Gama de aplicación

El transmisor de presión SITRANS P220 para presión relativa se utiliza en los siguientes sectores industriales:

- Fabricación de maquinaria
- Construcción naval
- Energía
- Química
- Abastecimiento de agua

Diseño

Estructura del aparato sin protección contra explosiones

El transmisor de presión está formado por una célula de medida piezorresistiva con membrana, montado en una caja de acero inoxidable. Puede conectarse eléctricamente con un conector conforme a EN 175301-803-A (IP65), un conector redondo M12 (IP67), un cable (IP67) o un pasacables rápido (IP67). La señal de salida asciende a 4 a 20 mA o 0 a 10 V.

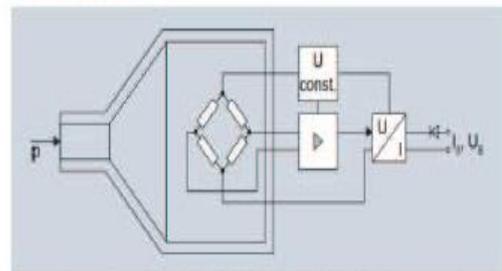
Estructura del aparato con protección contra explosiones

El transmisor de presión está formado por una célula de medida piezorresistiva con membrana, montado en una caja de acero inoxidable. Puede conectarse eléctricamente con un conector conforme a EN 175301-803-A (IP65) o un conector redondo M12 (IP67). La señal de salida asciende a 4 a 20 mA.

Funciones

El transmisor de presión mide la presión relativa y el nivel de líquidos y gases.

Modo de operación



Transmisores de presión SITRANS P220 (7MF1567-...), diagrama de función

La célula de medida de acero inoxidable dispone de un puente de resistencias de película gruesa, al cual se transmite la presión de servicio p a través de una membrana de acero inoxidable.

La tensión de salida de la célula de medida se conduce al amplificador y se transforma en una corriente de salida de 4 a 20 mA o en una tensión de salida de 0 a 10 V CC.

La corriente y la tensión de salida son linealmente proporcionales a la presión de entrada.

Medida de presión Transmisores para requisitos básicos

SITRANS P220
para presión relativa

2

Datos técnicos

Campo de aplicaciones	
Medición de la presión relativa	Líquidos, gases y vapores
Modo de operación	
Principio de medición	Célula de medida piezoresistiva (membrana de acero inoxidable)
Magnitud de medida	Presión relativa
Entrada	
Rango de medida	
• Presión relativa - métrico - Rango de medida para EE.UU.	2,5 ... 600 bar (36 ... 8700 psi) 30 ... 8700 psi
Salida	
Señal de corriente	4 ... 20 mA
• Carga	($U_B - 10$ V)/0,02 A
• Alimentación auxiliar U_B	7 ... 33 V CC (10 ... 30 V para Ex)
Señal de tensión	0 ... 10 V CC
• Carga	≥ 10 k Ω
• Alimentación auxiliar U_B	12 ... 33 V CC
• Consumo de corriente	< 7 mA at 10 k Ω
Característica	lineal creciente
Precisión de medida	
Desviación de medida en caso de ajuste de punto límite, incl. histéresis y repetibilidad	• típica: 0,25 % del valor final • máxima: 0,5 % del valor final
Tiempo de respuesta transitoria T_{99}	< 5 ms
Estabilidad a largo plazo	
• Inicio de medida y alcance de medida	0,25 % del valor final/año
Influencia de la temperatura ambiente	
• Inicio de medida y alcance de medida	0,25 %/10 K del valor final
• Influencia alimentación auxiliar	0,005 %/V
Condiciones de montaje	
• Temperatura de proceso	-30 ... +120 °C (-22 ... +248 °F)
• Temperatura ambiente	-25 ... +85 °C (-13 ... +185 °F)
• Temperatura de almacenamiento	-50 ... +100 °C (-58 ... +212 °F)
• Grado de protección según IEC 60529	• IP 65 con conector según EN 175301-803-A • IP 67 con conector M12 • IP 67 con cable • IP 67 con pasacables rápido
Compatibilidad electromagnética	• según EN 61326-1/-2/-3 • según NAMUR NE21, solo para aparatos ATEX y con una desviación de valor medido máx. ≤ 1 %
Construcción mecánica	
Peso	aprox. 0,090 kg (0,198 lb)
Conexiones al proceso	ver planos dimensionales
Electrical connections	• Conector según EN 175301-803-A forma A con entrada de cable M16x1,5 ó ½-14 NPT o PG 11 • Conector M12 • Cable de 2 o 3 hilos (0,5 mm ²) ($\pm 5,4$ mm) • Pasacables rápido
Material de las piezas en contacto con el fluido	

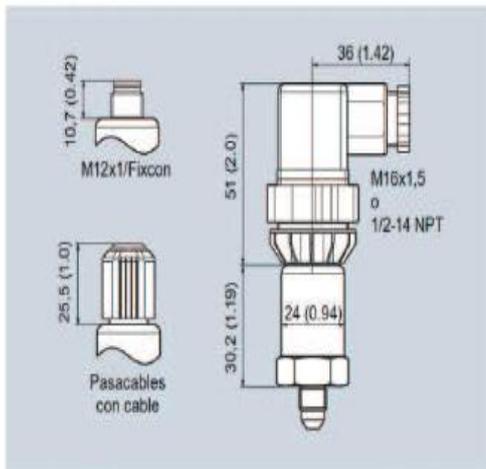
• Célula de medida	Acero inoxidable, n° de mat. 1.4016
• Conexión al proceso	Acero inoxidable, n° de material 1.4404 (SST 316 L)
Material de las piezas sin contacto con el fluido	
• Cajas	Acero inoxidable, n° de material 1.4404 (SST 316 L)
• Caja enchufable	Plástico
• Cable	PVC
Certificados y homologaciones	
Clasificación según la Directiva de aparatos de presión (97/23/CE)	Para gases del Grupo de fluidos 1 y líquidos del Grupo de fluidos 1; cumple los requisitos según el artículo 3, apartado 3 (prácticas de la buena ingeniería)
Lloyds Register of Shipping (LR)	solicitado
Germanischer Lloyds Register of Shipping (GL)	solicitado
American Bureau of Shipping (ABS)	solicitado
Bureau Veritas (BV)	solicitado
Det Norske Veritas (DNV)	solicitado
Homologación para agua potable (ACS)	solicitado
GOST	solicitado
Protección contra explosiones	
Seguridad intrínseca "I" (solo para salida de corriente)	Ex II 1/2 G Ex ia IIC T4 Ga/Gb Ex II 1/2 D Ex ia IIC T125 °C Da/Db
Certificado de homologación CE	SEV 10 ATEX 0146
Conexión a circuitos óhmicos con seguridad intrínseca certificados con los valores máximos:	$U_i \leq 30$ V DC; $I_i \leq 100$ mA; $P_i \leq 0,75$ W
Inductancia y capacidad internas efectivas para versiones con conectores según EN 175301-803-A y M12	$L_i = 0$ nH; $C_i = 0$ nF

Medida de presión

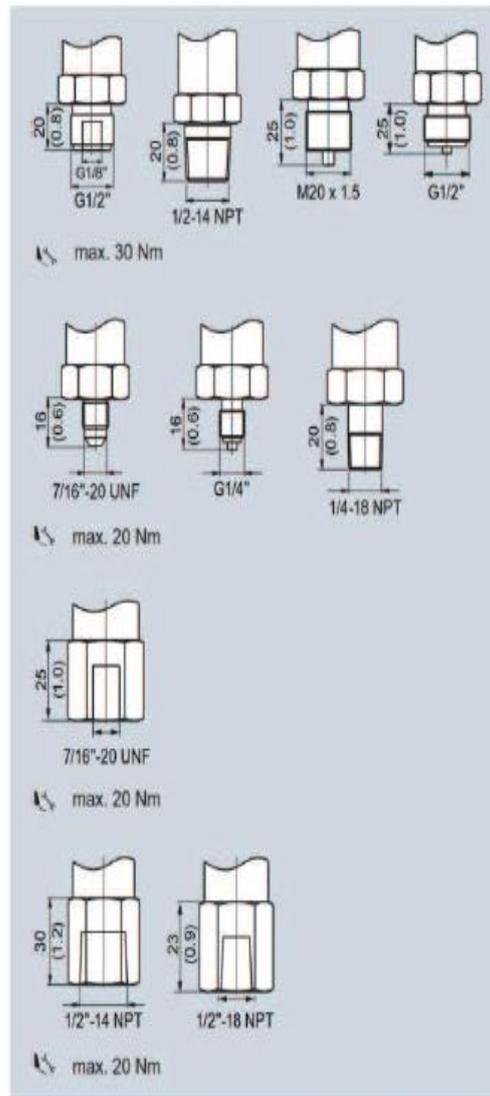
Transmisores para requisitos básicos

SITRANS P220
para presión relativa

Croquis acotados



SITRANS P220, conexiones eléctricas, medidas en mm (pulgadas)



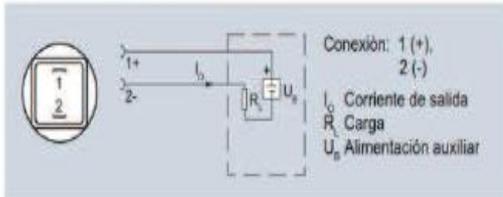
SITRANS P220, conexiones al proceso, medidas en mm (pulgadas)

Medida de presión

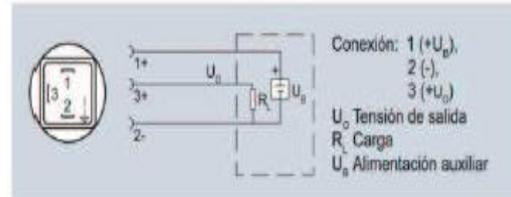
Transmisores para requisitos básicos

SITRANS P220
para presión relativa

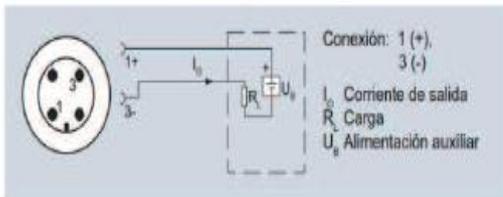
Diagramas de circuitos



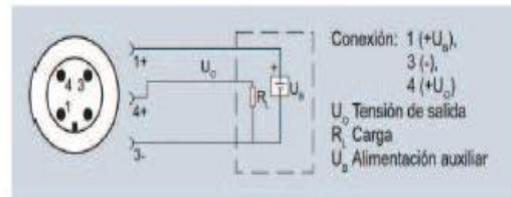
Conexión con salida de corriente y conector según EN 175301



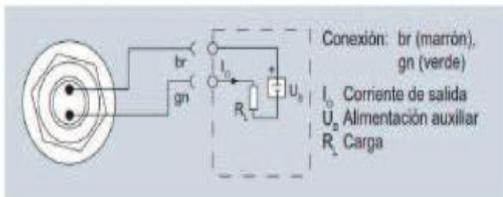
Conexión con salida de tensión y conector según EN 175301



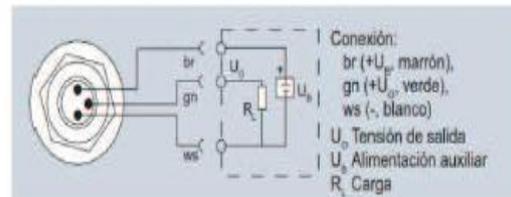
Conexión con salida de corriente y conector M12x1



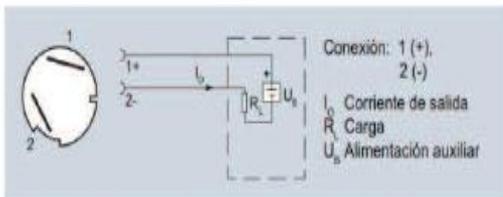
Conexión con salida de tensión y conector M12x1



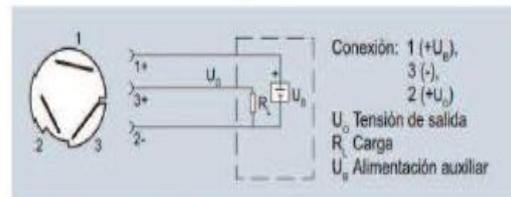
Conexión con salida de corriente y cable



Conexión con salida de tensión y cable



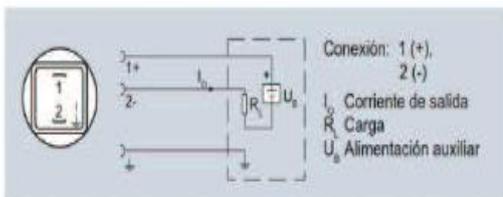
Conexión con salida de corriente y pasacables rápido



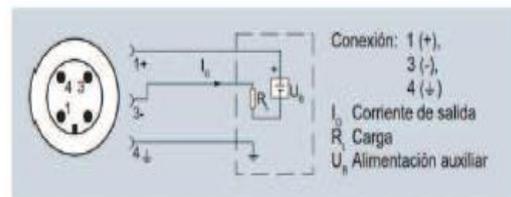
Conexión con salida de tensión y pasacables rápido

Versión de aparato con protección contra explosiones: 4 a 20 mA

La conexión de puesta a tierra está conectada de forma conductora con la caja del transmisor



Conexión con salida de corriente y conector según EN 175301 (Ex)



Conexión con salida de corriente y conector M12x1 (Ex)

ANEXO E
DIAGRAMAS DE CONEXION

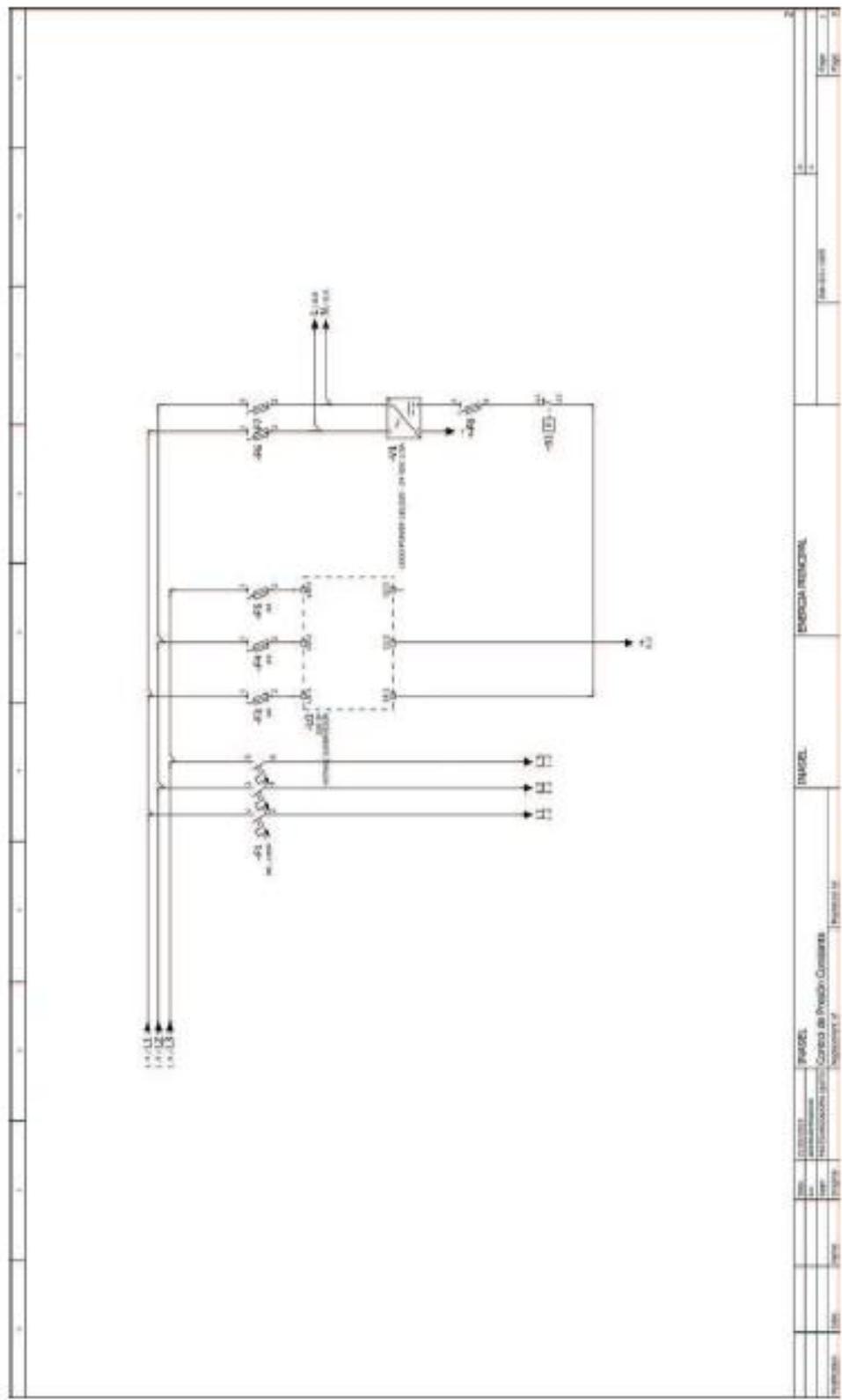


Diagrama 2.1. Distribución

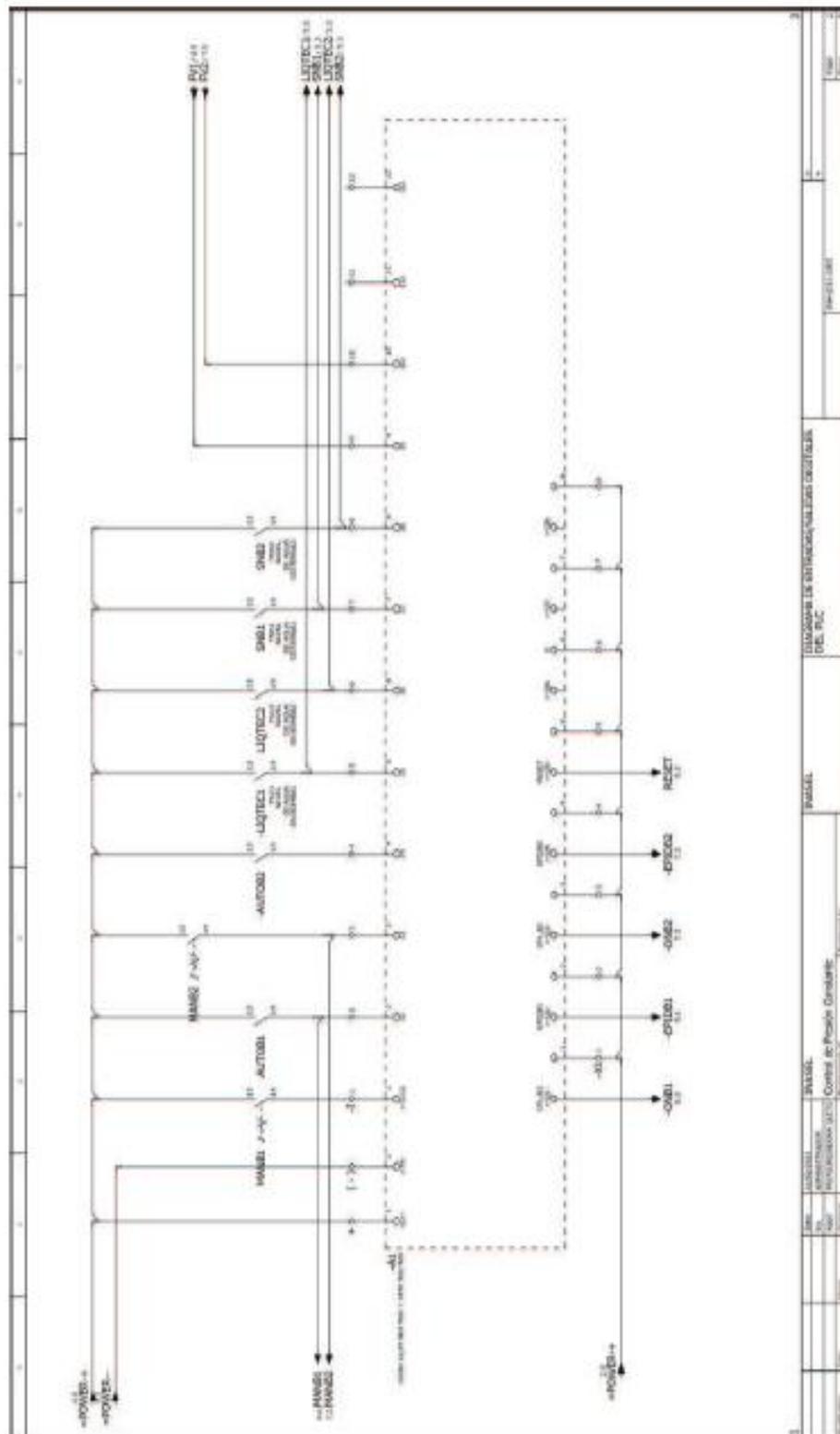


Diagrama 2.2. Entradas/Salidas Digitales

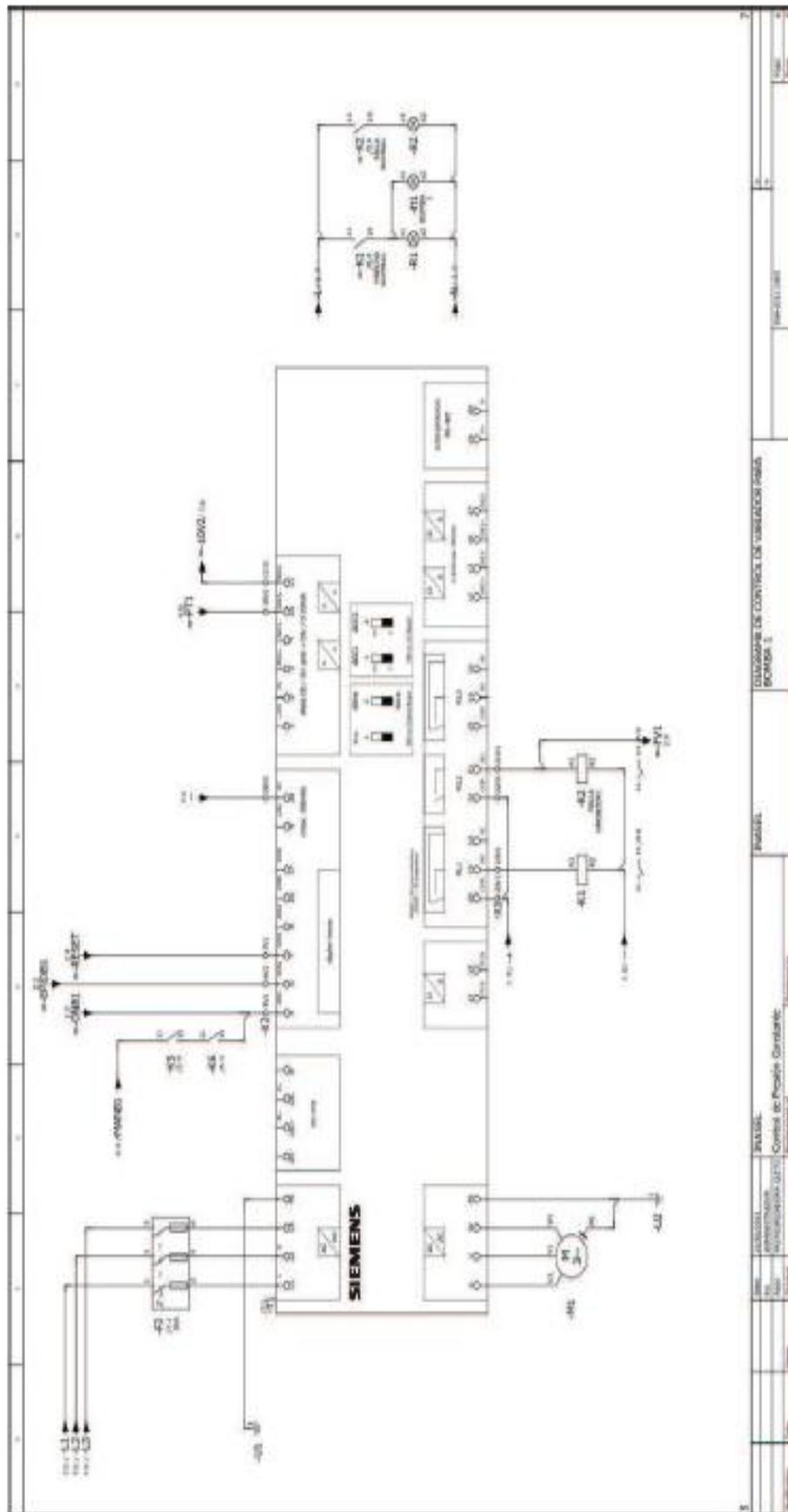


Diagrama 2.6. Conexiones Variador 1.

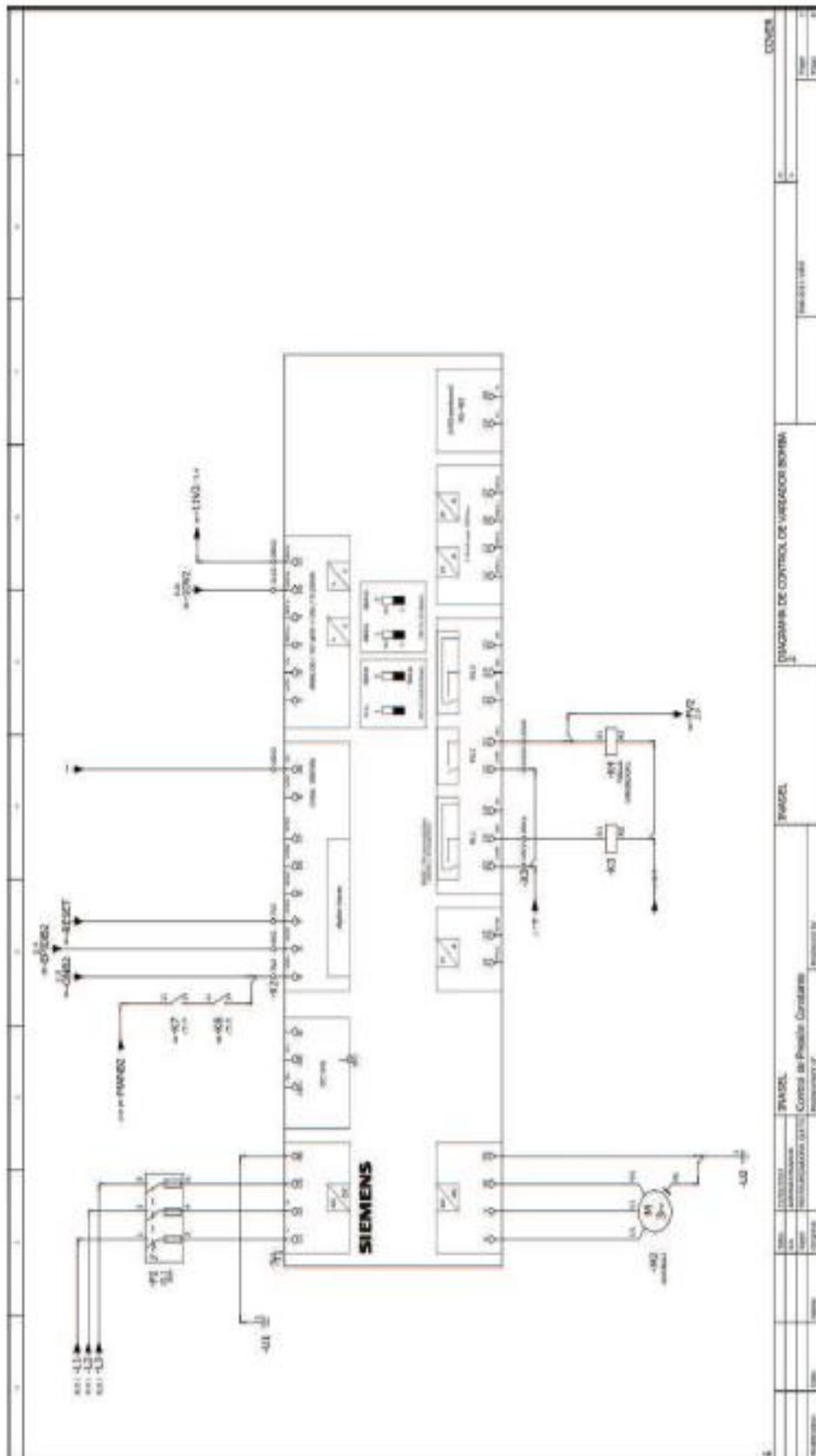


Diagrama 2.7. Conexiónes Variador 2