



AUTOMATIZACION DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE PARA PEQUENAS CIUDADELAS

Elaborado Por:

ARTURO GARCIA GOMEZ

ELIAS SIERRA ROMERO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA
CARTAGENA D.T. Y C
2009

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO PARA EL CONTROL DE BOMBAS EN SISTEMAS DE AGUA POTABLE PARA PEQUENAS CIUDADELAS

Monografía para optar al título de Ingeniero Electricista

Director:
ENRIQUE VANEGAS CASADIEGO
Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA
AREA DE SUBESTACIONES
CARTAGENA D.T Y C
2009

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	11
2. Objetivos.....	13
3. Marco Teórico.....	14
3.1. Motor Asíncrono Trifásico.....	14
3.1.1. Principio de Funcionamiento.....	14
3.1.2. Características Par – Velocidad.....	15
3.1.3. Arranque.....	16
3.1.4. Control de Velocidad.....	19
3.2. Variadores de Velocidad Electrónicos.....	23
3.2.1. Principales Funciones.....	24
3.2.1.1. Principales Modos de Funcionamiento.....	26
3.3. Tipos de Variadores de Velocidad.....	29
3.3.1. Convertidor de Frecuencia Para Motores Asíncronos.....	29
3.3.2. Regulador de Tensión Para Motores Asíncronos.....	29
3.4. PLC (Controlador Lógico Programable).....	30
3.4.1. Arquitectura.....	32
3.4.2. Adquisición de Datos.....	35
3.5. Sensores Para el Control de Fluidos.....	36
4. Descripción del Problema.....	45
4.1. Solución.....	46
4.2. Funcionamiento Automático.....	49
4.3. Ventajas.....	50
4.4. Comparación Energética entre Métodos de Regulación de Caudal.....	51
4.5. Cálculo de Circuitos Ramales y Alimentadores.....	52
4.6. Cálculo de Corriente Nominal.....	54
4.7. Cálculo del Alimentador.....	57
4.8. Cálculo del Alimentador Principal.....	60
4.9. Cálculo del Contactor de Potencia.....	62
4.10. Cálculo de Protección Contra Cortocircuitos.....	65
4.11. Protección Contra Sobrecarga.....	69
4.12. Selección del Variador de Velocidad.....	71
4.13. Recomendaciones de la Instalación.....	74
4.13.1. Cableado.....	74
4.13.2. Gabinete.....	75
4.13.3. Ventilación.....	75
4.13.4. Puesta a Tierra.....	75
5. Circuitos de Control.....	75

TABLA DE CONTENIDO

5.1. Diagramas de Control.....	76
5.2. PLC.....	78
5.2.1. Descripción del Sistema.....	79
5.2.2. Diagrama de Flujo.....	81
5.2.3. Descripción de Equipos del Sistema.....	82
5.2.4. Señales de Entrada del PLC.....	82
5.2.5. Señales de Salida del PLC.....	84
5.3. Selección del PLC.....	85
5.4. Mapeo de Señales del PLC.....	88
5.5. Relés de Aislamiento.....	89
5.6. Transformador de Control.....	90
6. Transmisor de Presión.....	91
7. Sistema de Monitoreo.....	91
8. Conclusiones.....	93
9. Planos.....	94
10. Listado de Materiales.....	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tanque de Almacenamiento de Agua Filtrada.	11
Figura 2. Campo Magnético Be con amplitud constante.	14
Figura 3. Curva Característica Par-Velocidad	16
Figura 4. Arranque Directo y Curva corriente-velocidad de arranque directo.....	18
Figura 5. Par en función de velocidad para distintos valores de U_1	20
Figura 6. Regulador de Velocidad	24
Figura 7. Cuadrantes de estado de una maquina eléctrica	27
Figura 8. Curva de funcionamiento a par constante.....	28
Figura 9. Curva de funcionamiento a par variable.....	28
Figura 10. Esquema de principio de un convertidor de frecuencia.....	29
Figura 11. Arrancador motor asíncrono y forma de onda-corriente de alimentación.....	30
Figura 12. PLC	30
Figura 13. Componentes del sistema de un PLC.....	32
Figura 14. Sistema de adquisición de datos.....	36
Figura 15. Sensor Bourdon	38
Figura 16. Manómetro de diafragma	39
Figura 17. Sensor tipo Fuelle	39
Figura 18. Manómetro de Presión Absoluta	40
Figura 19. Sensores de presión resistivos	41
Figura 20. Sensores de presión Magnéticos	42
Figura 21. Sensores de Capacitivos.....	42
Figura 22. Galgas extensiométricas.	43
Figura 23. Sensores de presión Piezoeléctrico	44
Figura 24. Sistema de Bombeo Existente	45
Figura 25. Variación simultánea de las curvas del sistema y la bomba	47
Figura 26. Sistema de bombeo Automatizado.....	49
Figura 27. Comparación entre métodos de regulación de flujo.	51
Figura 28. Asociación de Interruptor, contactor y relé térmico	53
Figura 29. Arranque Directo y. Arranque por variador de velocidad.....	54
Figura 31. Diagrama unifilar del circuito	58
Figura 32. Conductor OKONITE.....	59
Figura 33. Contactor General Electric,	64
Figura 34. Guía de selección para contactor General Electric	64
Figura 35. Selectividad de cortacircuitos	67
Figura 36. Circuit breaker general electric.....	68
Figura 37. Guía de Selección de circuit breaker general electric.	69
Figura 38. Relé de sobrecarga	71

Figura 39. Guía de selección para relé de sobrecarga Telemecanic.	71
Figura 40. Circuito del Variador de Velocidad.	72
Figura 41. Variador Power Flex 40.....	73
Figura 42. Guia de seleccion de Variador Allen Bradley.	74
Figura 43. Diagrama de Bloques.....	76
Figura 44. Señales de control del PLC al tablero de Potencia	77
Figura 45. Señales de control del PLC al variador.	77
Figura 46. Señales del transmisor de presión al PLC.	78
Figura 47. PLC Allen Bradley.	78
Figura 48. Diagrama de señales del proceso.	80
Figura 49. Diagrama de flujo del Proceso	81
Figura 50. Señales de entrada al PLC	82
Figura 51. Señales de salida del PLC	84
Figura 52. MicroLogix 1000 de Allen-Bradley.....	86
Figura 53. Serie de Micrologix 1000.....	86
Figura 54. Guia de seleccion para Micrologix 1000.....	87
Figura 55. Cable de comunicaciones del PLC.....	87
Figura 56. Configuracion de salidas del PLC por reles.	89
Figura 57. Transformador de Control.	90
Figura 58. Transmisor de presión rosemount.....	91
Figura 59. Panelview allen bradley.....	92
Figura 60. Guia de seleccion de panelview.....	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna.....	55
Tabla 2. Rendimiento y Factor de potencia para motores de inducción.....	56
Tabla 3. Intensidad máxima admisible o de disparo de los dispositivos de protección de los circuitos derivados de motores contra cortocircuitos y faltas a tierra.....	65
Tabla 4. Características del sistema.....	72
Tabla 5. Resumen de elementos eléctricos del sistema.	80
Tabla 6. Numero de entradas y salidas del PLC.	85

1. INTRODUCCION

CERROMATOSO es una planta de procesamiento de níquel, ubicada en Montelibano-Cordoba, dicha planta requiere un sistema de filtración de agua cruda para abastecer de agua potable para consumo interno de sus ciudadelas.

Para satisfacer esta necesidad CERROMATOSO cuenta con una planta de tratamiento de agua cruda cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos, sólidos disueltos y gases disueltos. Para tal fin, se necesitan varias etapas de tratamiento de agua, el primer paso consiste en la clarificación la cual involucra subprocesos como coagulación, floculación, asentamiento y desinfección. Bombas de agua cruda toman el agua del Rio San Jorge y la llevan hasta el clarificador, en esta etapa se inyectan químicos en línea mediante bombas dosificadores de polímero, hipoclorito de sodio y sulfato de aluminio. Esta agua clarificada es tomada por tres bombas de filtración, el agua fluye por un sistema de filtros de arena en paralelo los cuales retienen los sólidos suspendidos presentes en el agua, el producto final llega a un tanque de almacenamiento de agua filtrada (Ver Figura 1).

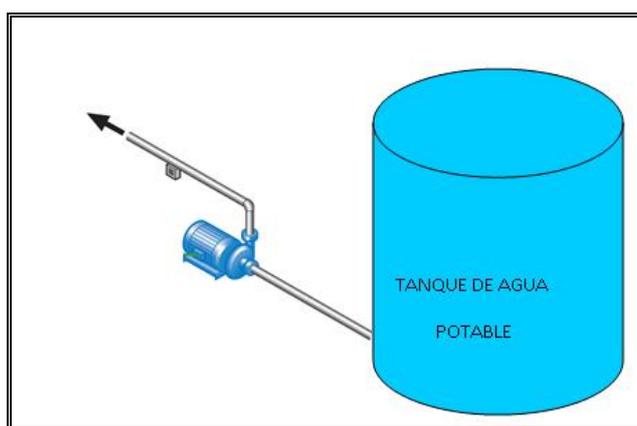


Figura 1. Tanque de Almacenamiento de Agua Filtrada.

De allí un sistema en paralelo de bombas de agua potable distribuyen el agua potable para alimentar a las ciudadelas, este sistema será en el cual nos basaremos en este trabajo.

Debido a los constantes daños en las tuberías ocasionados por los golpes de ariete en el arranque de las bombas, los constantes mantenimientos a los motores, cortes por mantenimientos no programados del sistema, alto consumo de energía, regulación inadecuada de presión del sistema, Cerro Matoso implementará un sistema de alimentación de agua potable automatizando el sistema actual.

Los beneficios de la implementación de este nuevo sistema serían:

- Optimización de flujo de bombas para reducir el consumo de energía a baja carga.
- Reducción del tiempo de operación de motores mediante la selectividad de arranques.
- Eliminación de golpes de ariete en tuberías.
- Reducción de mantenimientos correctivos.
- Migración a sistemas actualizados de control de procesos.

El alcance de este proyecto abarca el diseño de los arrancadores para los motores (contactores, protección contra sobrecorriente, sobrecargas), cálculo del cableado, elección del variador de frecuencia, protecciones generales del sistema, selección del PLC.

2. OBJETIVOS

General

- Realizar la ingeniería de detalle para un control de bombas automatizado.

Específicos

- Elaboración de planos eléctricos y de control del sistema.
- Cálculo y selección de dispositivos eléctricos para el montaje.
- Cálculo y selección de dispositivos de control para el montaje.

3. MARCO TEORICO

3.1. MOTOR ASINCRONICO TRIFASICO

3.1.1. Principio de funcionamiento

El motor asincrónico trifásico consta de un estator bobinado de dos o más polos por fase y de un rotor constituido por chapas de hierro silicio, que puede tener un bobinado (rotor bobinado) o puede tener barras longitudinales unidas entre sí (jaula de ardilla). En este último caso el motor tiene el rotor en cortocircuito. Cuando se conectan a una red trifásica balanceada (de frecuencia f) tres bobinas desplazadas 120° mecánicos entre sí (distribuidas en el estator), se genera un campo magnético (B_e) de amplitud constante pero que gira a una velocidad n_s denominada de s sincronismo (Ver Figura 2).

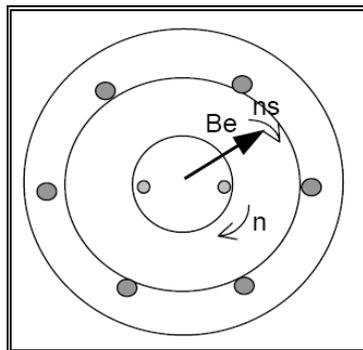


Figura 2. Campo Magnético B_e con amplitud constante.

El valor de la velocidad sincrónica es:

$$n_s = \frac{60f1}{p} \left[\frac{rev}{min} \right]$$

Donde:

p , es el número de pares de polos por fase del arrollamiento (se repite p veces la distribución de bobinas del estator).

Si en el rotor hay una espira, el campo magnético rotativo concatenado por dicha espira es variable (pues cambia su dirección al girar el campo), induciéndose una f.e.m. En el caso del rotor en jaula de ardilla, por tratarse de bobinas de muy baja resistencia óhmica (barras metálicas de cobre, bronce o aleaciones similares) y de reactancia inductiva variable, se generará una corriente eléctrica importante. Esta corriente, en acción conjunta con el campo magnético rotativo, creará torques distribuidas a lo largo de cada barra haciendo que el rotor gire en el mismo sentido que el campo giratorio (B_e), con una velocidad n . La velocidad de giro del rotor nunca puede alcanzar a la de giro del campo pues en ese caso no habría variación del flujo concatenado por el bobinado del rotor y por lo tanto no habría f.e.m., ni corriente en el rotor. En condiciones nominales de carga el motor gira a una velocidad $n < n_s$. Esta diferencia, expresada en relación a la velocidad de sincronismo, se denomina deslizamiento o resbalamiento s .

Donde;

$$n = (1 - s) \cdot n_s$$

3.1.2. Característica Par-Velocidad.

Si se asume que el flujo magnético en el entrehierro es constante, la f.e.m. inducida en el rotor será proporcional al deslizamiento. Cuando el motor gira a una velocidad cercana a la de sincronismo, f_2 es muy baja y la reactancia de las barras es pequeña frente a su resistencia óhmica. En este caso resulta una característica par- velocidad similar a la de un motor de corriente continúa con excitación independiente, esto es una variación lineal del par en función de la velocidad. Cuando el deslizamiento aumenta, también lo hace la reactancia de las barras y por ende la corriente en ellas comienza a sufrir un desfase respecto a la f.e.m. y una disminución de amplitud como consecuencia del aumento de impedancia. Este fenómeno reduce el par neta en el eje del motor dando como resultado una curva característica Par-velocidad tal como se muestra en la Figura 3 3.

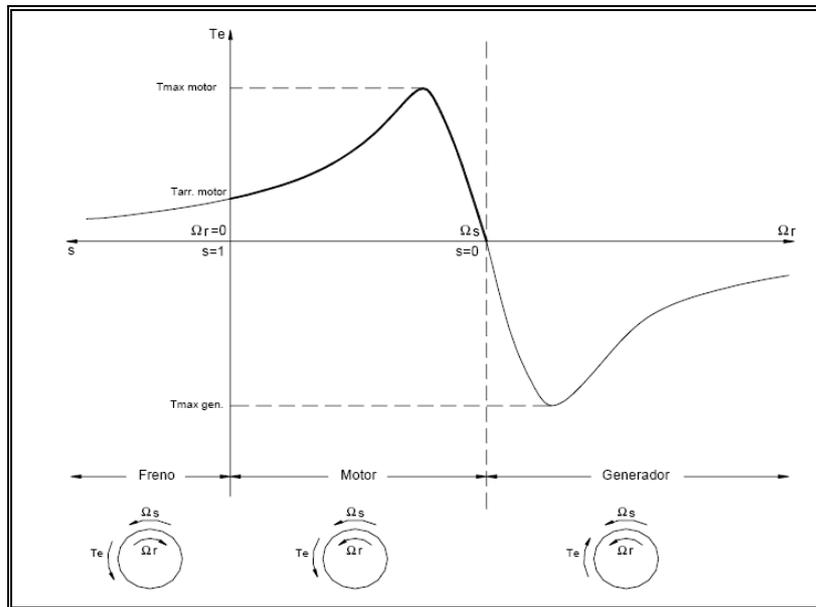


Figura 3. Curva Característica Par-Velocidad

Siendo:

Ω_s : velocidad de sincronismo (en rad. geométricos/s)

Ω_r : velocidad del rotor

T_e : Par electromagnético

Un análisis más profundo del funcionamiento del motor de inducción permite demostrar que la misma máquina es capaz de generar energía eléctrica a frecuencia f_1 si se la impulsa a una velocidad superior a la de sincronismo. Esta característica es la que se usa en el frenado regenerativo de grandes masas tales como motores de tracción ferroviaria.

3.1.3. Arranque de los motores asíncronos trifásicos

Durante la puesta en tensión de un motor, la corriente solicitada es considerable y puede provocar una caída de tensión que afecte al funcionamiento de los receptores, especialmente en caso de insuficiencia de la sección de la línea de alimentación. En ocasiones, la caída puede llegar a ser perceptible en los aparatos de alumbrado. Para poner remedio a estos inconvenientes, ciertos reglamentos

sectoriales prohíben el uso de motores de arranque directo que superen cierta potencia. Otros se limitan a imponer la relación entre la corriente de arranque y la nominal en base a la potencia de los motores. Los motores de jaula son los únicos que pueden acoplarse directamente a la red por medio de un equipo simple.

Tan sólo las extremidades de los devanados del estator sobresalen de la placa de bornas. Dado que el fabricante determina de manera definitiva las características del rotor, los distintos procesos de arranque consisten principalmente en hacer variar la tensión en las bornas del estátor. En este tipo de motores, cuya frecuencia es constante, la reducción de la punta de corriente conlleva de manera automática una fuerte reducción del par.

Arranque directo: Se trata del modo de arranque más sencillo en el que el estator se acopla directamente a la red. El motor se basa en sus características naturales para arrancar. En el momento de la puesta bajo tensión, el motor actúa como un transformador cuyo secundario, formado por la jaula muy poco resistente del rotor, está en cortocircuito. La corriente inducida en el rotor es importante. La corriente primaria y la secundaria son prácticamente proporcionales.

Por tanto, se obtiene una punta de corriente importante en la red:

$I_{\text{arranque}} = 5 \text{ a } 8 \text{ Corriente nominal.}$

El par de arranque medio es:

$\text{Corriente arranque} = 0,5 \text{ a } 1,5 \text{ Corriente nominal.}$

A pesar de las ventajas que conlleva (sencillez del equipo, elevado par de arranque, arranque rápido, bajo coste), sólo es posible utilizar el arranque directo en los siguientes casos:

La potencia del motor es débil con respecto a la de la red, para limitar las perturbaciones que provoca la corriente solicitada, la máquina accionada no requiere un aumento progresivo de velocidad y dispone de un dispositivo

mecánico (por ejemplo, un reductor) que impide el arranque brusco, el par de arranque debe ser elevado.

Por el contrario, siempre que:

La caída de tensión provocada por la corriente solicitada pueda perturbar el buen funcionamiento de otros aparatos conectados a la misma línea, la máquina accionada no pueda admitir sacudidas mecánicas, la seguridad o la comodidad de los usuarios se vea comprometida (por ejemplo, en el caso de las escaleras mecánicas), será imprescindible recurrir a una artimaña para disminuir la corriente solicitada o el par de arranque. En estos casos, el medio más utilizado consiste en arrancar el motor bajo tensión reducida.

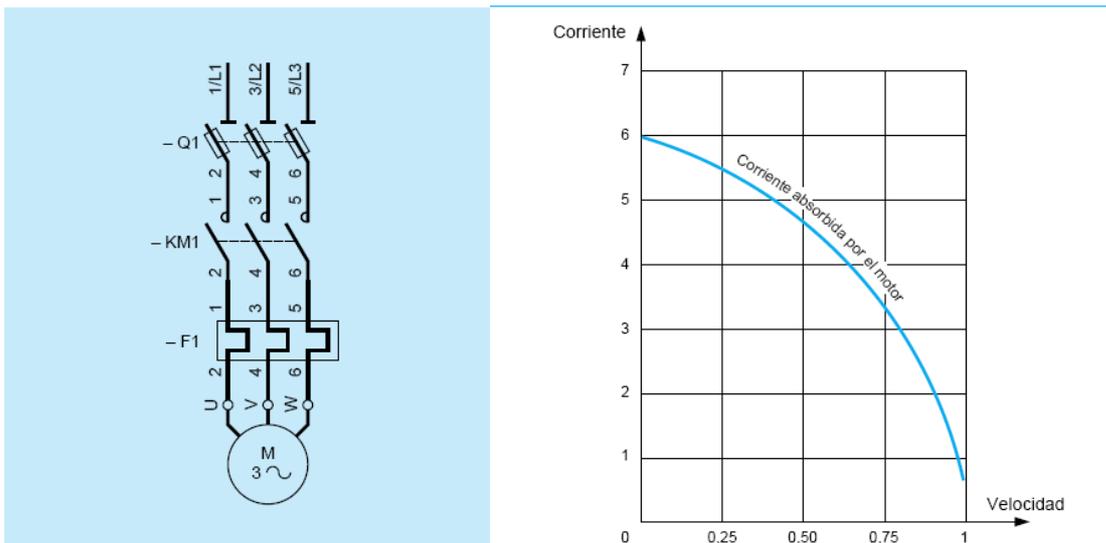


Figura 4. Arranque Directo y Curva corriente-velocidad de arranque directo.

La variación de la tensión de alimentación tiene las siguientes consecuencias:

La corriente de arranque varía proporcionalmente a la tensión de alimentación, el par de arranque varía proporcionalmente al cuadrado de la tensión de alimentación. Ejemplo: si la tensión se divide por 3, la corriente se divide aproximadamente por 3 y el par se divide por 3.

3.1.4. Control de Velocidad del Motor Asíncrono Trifásico

Aplicación de la variación de velocidad: La velocidad variable es una necesidad en todos los sectores de la industria, pues permite el control de la producción de un proceso o de un sistema con el gasto mínimo de energía y de materia prima. También es útil en aplicaciones de domótica, tales como el control de calderas, ventilación y aire acondicionado.

Hasta hace algunos años, cuando se necesitaba variar velocidad de accionamientos, se recurría a sistemas mecánicos o a motores de corriente continua. Los avances de la electrónica y su abaratamiento fueron desplazando los sistemas mecánicos, por el costo de su mantenimiento, en favor del motor de corriente continua controlado electrónicamente. Sin embargo este tipo de motor requiere mantenimiento periódico, como el cambio de escobillas y rectificación de colector, que insume costo y tiempo afectando fuertemente los procesos industriales continuos tales como petroquímicas, siderúrgicas, etc.

Sin duda el motor más barato y confiable de la industria es el motor de inducción. Al acoplársele un sistema electrónico de control de velocidad, se obtienen las mismas prestaciones de un motor de corriente continua, esto es, control de cupla de arranque, velocidad, aceleración y posibilidad de realizar frenado regenerativo. Las enormes ventajas del motor de inducción con rotor en cortocircuito sumadas a la confiabilidad del controlador electrónico asociado hicieron que los costos de utilización fueran reduciéndose, resultando, en la actualidad, competitivos.

Descripción de las técnicas utilizadas: Recordemos que la velocidad del motor se puede obtener de la expresión:

$$n = n_s \times (1 - s)$$

Por lo tanto para variar la velocidad se puede proceder de dos formas:

- Cambiar la curva de par- velocidad a fin de variar el deslizamiento.
- Variar la velocidad sincrónica

Para variar la forma de la curva T-n se puede actuar sobre los parámetros del motor (resistencia estática, resistencia rotórica, inductancia rotórica) o sobre la tensión de alimentación. Hoy en día estas técnicas se utilizan fundamentalmente para el control durante el arranque del motor.

Para variar la velocidad sincrónica se utilizaba la variación en la cantidad de pares de polos, mediante un devanado con conexiones conmutables. Actualmente se utiliza la variación de frecuencia a través de los variadores de velocidad. A continuación pasamos a describir estas técnicas.

Variación en la tensión de alimentación: A partir de la expresión del par podemos graficar las curvas de par en función de velocidad para distintos valores de U_1 (Ver Figura 5):

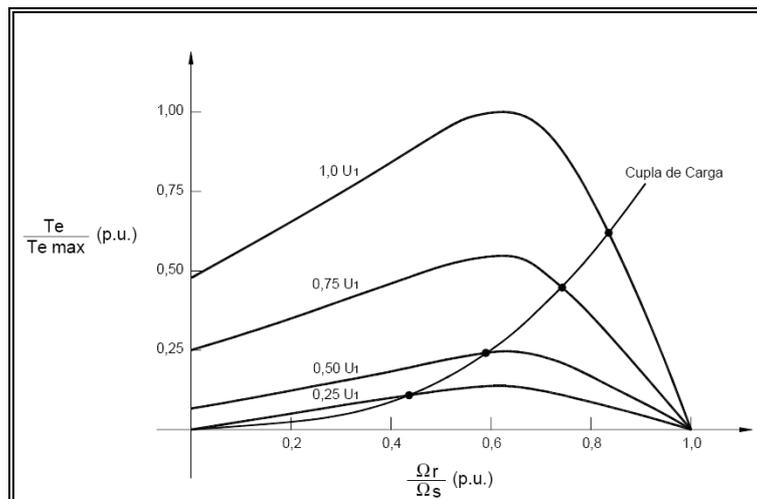


Figura 5. Par en función de velocidad para distintos valores de U_1

Se observa que variando solamente la tensión U_1 se puede variar la velocidad de un motor jaula de ardilla, pero el inconveniente (además del aumento de las pérdidas) es que a medida que $U_1 < U_n$ (nominal) el par máximo decae considerablemente y como $P = T \times \Omega$, no se podrá obtener la plena potencia del motor.

Además este método sólo puede aplicarse a cargas mecánicas cuya característica de par sea creciente con el aumento de velocidad, como es el caso de los ventiladores o bombas.

Control de frecuencia con flujo constante: La velocidad sincrónica n_s es directamente proporcional a la frecuencia aplicada, por lo que una forma de conseguir variar la velocidad es con una fuente de frecuencia variable.

El par máximo T_{max} permanece invariable si la relación U_1 / f_1 permanece constante. Es decir, el par máximo que se puede obtener a cualquier frecuencia es idéntica a la que se obtendría si $U_1 = U_n$ y $f_s = f_n$ (nominales).

Para todo circuito magnético alimentado por tensión alterna se cumple que:

$$U_1 = k f_s N \Phi_{max}$$

donde:

U_1 : tensión de alimentación

k : constante de la máquina

f_s : frecuencia de la tensión de alimentación

N : número de espiras, sometidas a la tensión U

Φ_{max} : flujo máximo de operación del núcleo

El valor de Φ_{max} para el cual se dimensiona una máquina determina su tamaño físico, por lo que toda variación de frecuencia (con vistas a cambiar la velocidad del rotor) traerá aparejado un cambio en las condiciones magnéticas del núcleo, salvo si se mantiene U/f constante:

$$\frac{U_1}{f_1} = k N \Phi_{max} = cte$$

La variación conjunta de U_1 y f_1 provoca desplazamientos horizontales de la característica Par-velocidad del motor. No cambian ni la forma ni las dimensiones de la curva de par, pero si varía su posición, como se observa en la figura 10. De esta forma se logra el máximo aprovechamiento del par del motor en todo el rango de velocidad.

En la parte útil de la característica Par-velocidad se obtiene una familia de rectas sensiblemente paralelas, lo que corresponde, desde el punto de vista técnico, a una buena regulación de velocidad con un rendimiento prácticamente similar al que correspondería al funcionamiento a velocidad nominal.

Cada curva característica posee un punto de equilibrio entre el par motor y el par resistente de la máquina accionada, denominado punto de funcionamiento del motor. Si unimos los distintos puntos de funcionamiento obtenemos una gráfica en la cual se distinguen por lo menos dos regiones perfectamente definidas: de par constante y de potencia constante.

El par motor permanece constante sólo desde bajas velocidades hasta la velocidad nominal del motor. Las razones por las cuales no se puede obtener par constante en todo el rango pueden describirse así:

- En bajas velocidades (menores al 10% de la nominal), las corrientes necesarias para producir un par elevado provocarían un calentamiento del motor imposible de disipar por la propia ventilación del motor, haciendo que el motor se “queme”. No obstante existe una solución que es la de ventilar al motor en forma externa.

- Cuando la frecuencia sobrepasa la nominal del motor, para mantener $U / f = \text{cte.}$ sería necesario aumentar la tensión de entrada por encima de la tensión de red. Puesto que esto no es posible, se limita U a su valor nominal, perdiéndose flujo magnético, con lo que se pierde potencia.

- Para frecuencias bajas (< 5 Hz) , para mantener $U / f = \text{cte.}$ sería necesario disminuir la tensión de entrada a valores muy bajos en los que se pierde la ley de mantenimiento del flujo magnético, con la consecuente parada de la máquina. Por lo tanto, la tensión de alimentación U no se reduce nunca a menos del 15 % de su valor nominal, produciéndose cambios en el valor máximo del par .

Un motor de inducción usado de esta manera tiene características semejantes a las de un motor de corriente continua excitación independiente, con el flujo constante y la tensión de inducido variable (en la zona de par constante) y debilitamiento de flujo en la zona de potencia constante.

3.2. *VARIADORES DE VELOCIDAD ELECTRONICOS*

El arranque directo sobre la red de distribución de los motores asíncronos es la solución más extendida y frecuentemente la más conveniente para una gran variedad de máquinas. Sin embargo, puede presentar inconvenientes que lleguen a ser perjudiciales en ciertas aplicaciones e incluso hasta incompatibles con el funcionamiento deseado de la máquina:

Corriente de arranque que puede alterar la marcha de otros aparatos conectados en la misma red, sacudidas mecánicas al arrancar, inaceptables para la máquina y para el confort y seguridad de los usuarios, imposibilidad de controlar la aceleración y deceleración, imposibilidad variar la velocidad. Los arrancadores y los variadores de velocidad eliminan estos inconvenientes. La tecnología electrónica les ha proporcionado mayor flexibilidad y ha ampliado su campo de aplicación. Pero todavía queda elegir bien. El objetivo de este Cuaderno Técnico es dar a conocer mejor estos dispositivos para facilitar su definición durante el diseño de los equipos y para mejorar y, hasta sustituir, un conjunto motor-dispositivo de mando y de protección.

3.2.1. Principales funciones de los variadores de velocidad electrónicos

Aceleración controlada: La aceleración del motor se controla mediante una rampa de aceleración lineal o en «S». Generalmente, esta rampa es controlable y permite por tanto elegir el tiempo de aceleración adecuado para la aplicación.

Variación de velocidad: Un variador de velocidad no puede ser al mismo tiempo un regulador. En este caso, es un sistema, rudimentario, que posee un mando controlado mediante las magnitudes eléctricas del motor con amplificación de potencia, pero sin bucle de realimentación: es lo que se llama «en bucle abierto». La velocidad del motor se define mediante un valor de entrada (tensión o corriente) llamado consigna o referencia. Para un valor dado de consigna, esta velocidad puede variar en función de las perturbaciones (variaciones de la tensión de alimentación, de la carga, de la temperatura). El margen de velocidad se expresa en función de la velocidad nominal.

Regulación de velocidad: Un regulador de velocidad es un dispositivo controlado (Ver Figura 6). Posee un sistema de mando con amplificación de potencia y un bucle de alimentación: se denomina, «bucle abierto».

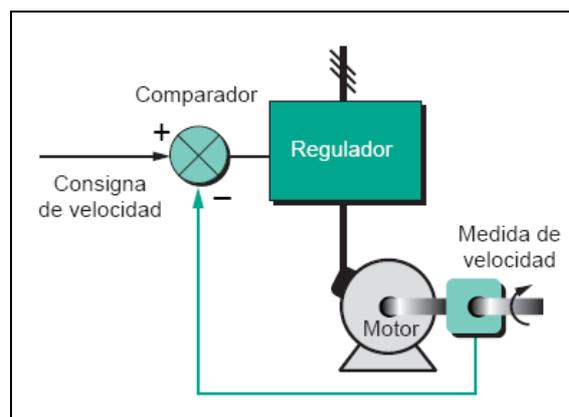


Figura 6. Regulador de Velocidad

La velocidad del motor se define mediante una consigna o referencia. El valor de la consigna se compara permanentemente con la señal de alimentación, imagen de la velocidad del motor. Esta señal la suministra un generador tacométrico o un

generador de impulsos colocado en un extremo del eje del motor. Si se detecta una desviación como consecuencia de una variación de velocidad, las magnitudes aplicadas al motor (tensión y/o frecuencia) se corrigen automáticamente para volver a llevar la velocidad a su valor inicial. Gracias a la regulación, la velocidad es prácticamente insensible a las perturbaciones. La precisión de un regulador se expresa generalmente en % del valor nominal de la magnitud a regular.

Desaceleración controlada: Cuando se desconecta un motor, su deceleración se debe únicamente al par resistente de la máquina (deceleración natural). Los arrancadores y variadores electrónicos permiten controlar la deceleración mediante una rampa lineal o en «S», generalmente independiente de la rampa de aceleración. Esta rampa puede ajustarse de manera que se consiga un tiempo para pasar de la velocidad de régimen fijada a una velocidad intermedia o nula.

Si la desaceleración deseada es más rápida que la natural, el motor debe desarrollar un par resistente que se debe sumar al par resistente de la máquina; se habla entonces de frenado eléctrico, que puede efectuarse reenviando energía a la red de alimentación, o disipándola en una resistencia de frenado. Si la deceleración deseada es más lenta que la natural, el motor debe desarrollar un par motor superior al par resistente de la máquina y continuar arrastrando la carga hasta su parada.

Inversión del sentido de giro: La mayoría de los variadores actuales tienen implementada esta función. La inversión de la secuencia de fases de alimentación del motor se realiza automáticamente o por inversión de la consigna de entrada, o por una orden lógica en un borne, o por la información transmitida a mediante una red.

Frenado: Este frenado consiste en parar un motor pero sin controlar la rampa de desaceleración. Con los arrancadores y variadores de velocidad para motores asíncronos, esta función se realiza de forma económica inyectando una corriente

continúa en el motor, haciendo funcionar de forma especial la etapa de potencia. Toda la energía mecánica se disipa en el rotor de la máquina y, por tanto, este frenado sólo puede ser intermitente. En el caso de un variador para motor de corriente continua, esta función se realiza conectando una resistencia en bornes del inducido.

Protecciones integradas: Los variadores modernos aseguran tanto la protección térmica de los motores como su propia protección. A partir de la medida de la corriente y de una información sobre la velocidad (si la ventilación del motor depende de su velocidad de rotación), un microprocesador calcula la elevación de temperatura de un motor y suministra una señal de alarma o de desconexión en caso de calentamiento excesivo.

Además, los variadores, y especialmente los convertidores de frecuencia, están dotados de protecciones contra:

- Los cortocircuitos entre fases y entre fase y tierra.
- Las sobretensiones y las caídas de tensión, o desequilibrios de fases.
- El funcionamiento en monofásico.

3.2.1.1. Principales modos de funcionamiento y principales variadores electrónicos

Los principales modos de funcionamiento y principales tipos de variadores electrónicos. Los variadores de velocidad pueden, según el convertidor electrónico, o hacer funcionar un motor en un solo sentido de rotación, y se llaman «unidireccionales», o en los dos sentidos de la marcha, y se llaman entonces bidireccionales». los variadores son «reversibles» cuando pueden recuperar la energía del motor al funcionar como generador (modo frenado). La reversibilidad se obtiene o retornando la energía hacia la red (puente de entrada reversible), o disipando la energía recuperada en una resistencia con un chopper de frenado.

La Figura 7.9 muestra las cuatro situaciones posibles de la gráfica par-velocidad de una máquina resumidas en la tabla que le acompaña. Hay que indicar que cuando la máquina funciona como generador recibe una fuerza de arrastre. Este estado se utiliza especialmente para el frenado. La energía cinética disponible en el eje de la máquina, o se transfiere a la red de alimentación, o se disipa en las resistencias, o, para pequeñas potencias, en la misma máquina, como pérdidas.

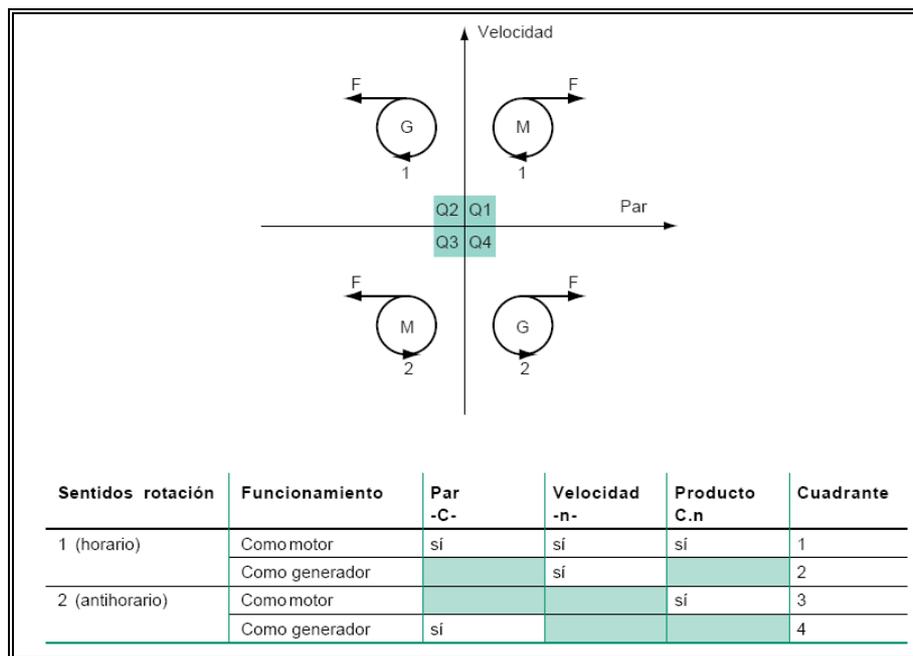


Figura 7. Cuadrantes de estado de una máquina eléctrica

Funcionamiento a par constante: Se denomina funcionamiento a par constante cuando las características de la carga son tales, que, en régimen permanente, el par solicitado es sensiblemente constante sea cual sea la velocidad (Ver Figura 8). Este modo de funcionamiento se utiliza en las cintas transportadoras y en las amasadoras. Para este tipo de aplicaciones, el variador debe tener la capacidad de proporcionar un par de arranque importante (1,5 veces o más el par nominal) para vencer los rozamientos estáticos y para acelerar la máquina (inercia).

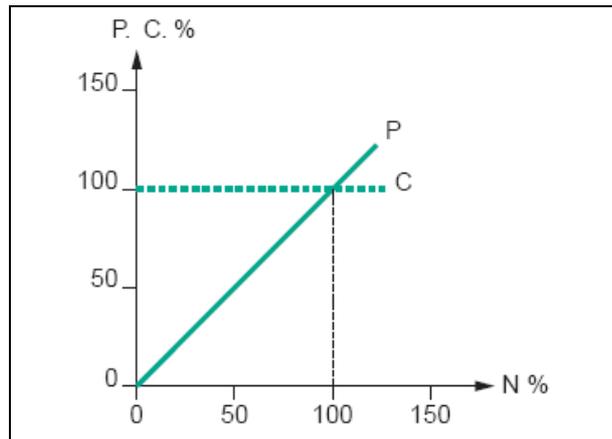


Figura 8. Curva de funcionamento a par constante

Funcionamiento a par variable: Se denomina funcionamiento a par variable cuando las características de la carga son tales que en régimen permanente, el par solicitado varía con la velocidad. Es en concreto el caso de las bombas volumétricas con tornillo de Arquímedes cuyo par crece linealmente con la velocidad (Ver Figura 9a) o las máquinas centrífugas (bombas y ventiladores) cuyo par varía con el cuadrado de la velocidad (Ver Figura 9b). Para un variador destinado a este tipo de aplicaciones, es suficiente un par de arranque mucho menor (en general 1,2 veces el par nominal del motor). Muy frecuentemente dispone de funciones complementarias como la posibilidad de omitir las frecuencias de resonancia correspondientes a las vibraciones indeseables de la máquina. Es imposible funcionar más allá de la frecuencia nominal de la máquina porque sería una carga insostenible para el motor y el variador.

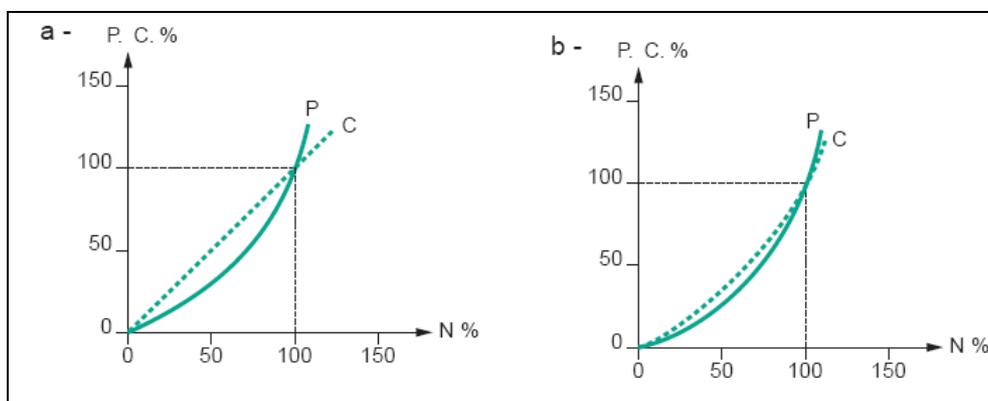


Figura 9. Curva de funcionamento a par variável

3.3. TIPOS DE VARIADORES

3.3.1. Convertidor de frecuencia para motor asíncrono

Suministra, a partir de una red de corriente alterna de frecuencia fija, una tensión alterna trifásica, de valor eficaz y frecuencia variables. La alimentación del variador puede ser monofásica para pequeñas potencias (orden de magnitud de algunos kW) y trifásica para los mayores. Ciertos variadores de pequeña potencia aceptan indistintamente tensiones de alimentación mono y trifásicas. La tensión de salida del variador es siempre trifásica. De hecho, los motores asíncronos monofásicos no son adecuados para ser alimentados mediante convertidores de frecuencia. Los convertidores de frecuencia alimentan los motores de jaula estándar con todas las ventajas de estos motores: estandarización, bajo coste, robustez, estanqueidad, ningún mantenimiento. Puesto que estos motores son auto-ventilados, el único límite para su empleo es el funcionamiento a baja velocidad porque se reduce esta ventilación. Si se requiere este funcionamiento hay que prever un motor especial con una ventilación forzada independiente.

3.3.2. Regulador de tensión para el arranque de motores asíncronos

Suministra, a partir de una red de corriente alterna, una corriente alterna de frecuencia fija igual a la de la red, mediante el control del valor eficaz de la tensión, modificando el ángulo de retardo de disparo de los semiconductores de potencia (dos tiristores montados en antiparalelo en cada fase del motor) (Ver Figura 11).

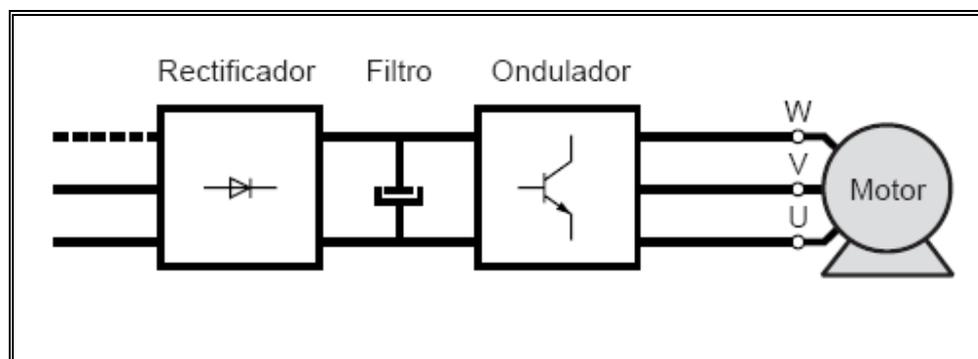


Figura 10. Esquema de principio de un convertidor de frecuencia.

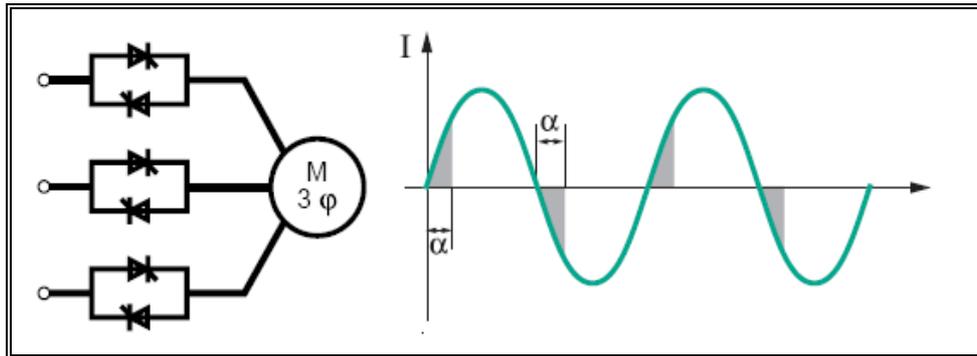


Figura 11. Arrancador motor asíncrono y forma de onda-corriente de alimentación

3.4. PLC (Controlador Lógico Programable)

El término "control lógico programable" (PLC) se define como: "Un sistema electrónico de funcionamiento digital, diseñado para ser utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para la realización de funciones específicas tales como enlaces lógicos, secuenciación, temporización, recuento y cálculo, para controlar, a través de entradas y salidas digitales o analógicas, diversos tipos de máquinas o procesos. Tanto el PLC como sus periféricos asociados están diseñados de forma que puedan integrarse fácilmente en un sistema de control industrial y ser fácilmente utilizado en todas las aplicaciones para las que están previstos.

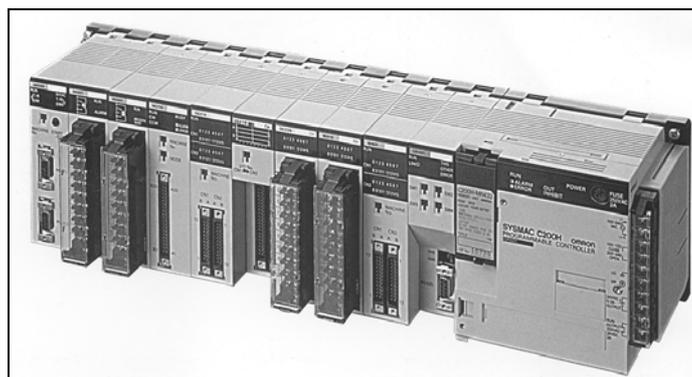


Figura 12.PLC

La tarea original de un PLC es la interconexión de señales de entrada, de acuerdo con un determinado programa y, si el resultado de esta interconexión es "cierta",

activar la correspondiente salida. El álgebra de Boole forma la base matemática para esta operación, ya que solamente reconoce dos estados definidos de una variable: "0" (falso) y "1" (cierto). Consecuentemente, una salida solo asume estos dos estados.

Las demandas que se requieren de los PLCs siguen creciendo al mismo ritmo que su amplia utilización y desarrollo en la tecnología de automatización. Por ejemplo: la visualización, es decir, la representación de los estados de las máquinas o la supervisión de la ejecución del programa por medio de una pantalla o monitor. También el control directo, es decir, la facilidad de intervenir en los procesos de control o, alternativamente, impedir tal intervención a las personas no autorizadas. También se ha visto la necesidad de interconectar y armonizar sistemas individuales controlados por PLC, por medio de redes o buses de campo. Aquí, un ordenador master permite la generación de órdenes de mayor nivel para el procesamiento de programas en los diversos sistemas PLC interconectados.

La conexión entre de varios PLCs, así como la de un PLC con el ordenador máster se realiza por medio de interfaces de comunicación especiales. Para ello, la mayoría de los más recientes PLCs son compatibles con sistemas de bus abiertos estandarizados, tales como Profibus según DIN 19 245. Gracias al enorme aumento de la potencia y capacidad de los PLCs avanzados, estos pueden incluso asumir directamente la función de un ordenador máster.

Por lo tanto, un control lógico programable es sencillamente un ordenador, adaptado específicamente para ciertas tareas de control.



Figura 13. Componentes del sistema de un PLC

3.4.1. Arquitectura de un PLC.

Un autómata programable consiste básicamente en módulos de entradas, una CPU, y módulos de salidas, además requiere de una fuente de alimentación y una terminal de programación.

Un Módulo de Entrada acepta una gran variedad de señales analógicas o digitales de varios dispositivos de campo (sensores) y los convierte en una señal lógica que puede usar la CPU.

El módulo de entradas de un PLC es el módulo al cual están conectados los sensores del proceso. Las señales de los sensores deben pasar a la unidad central. Las funciones importantes de un módulo de entradas es la siguiente:

- Detección fiable de la señal
- Ajuste de la tensión, desde la tensión de control a la tensión lógica
- Protección de la electrónica sensible de las tensiones externas filtrado de las entradas.

El principal componente de los actuales módulos de entradas, que cumple con estos requerimientos es el opto acoplador. El optoacoplador transmite la

información del sensor por medio de la luz, creando así un aislamiento eléctrico entre el control y los circuitos lógicos, protegiendo con ello a la sensible electrónica de las tensiones espúreas externas. Actualmente, los optoacopladores avanzados garantizan protección a picos de aproximadamente 5kV, lo que es adecuado para aplicaciones industriales.

La CPU toma las decisiones y ejecuta las instrucciones de control basadas en las instrucciones del programa de la memoria.

La Unidad Central de Procesos es el auténtico cerebro del sistema. Se encarga de recibir las órdenes del operario por medio de la consola de programación y el módulo de entradas. Posteriormente, las procesa para enviar respuestas al módulo de salidas. En su memoria, se encuentra residente el programa destinado a controlar el proceso.

Los Módulos de Salida convierten las instrucciones de control de la CPU en una señal digital o analógica que se puede usar para controlar dispositivos de campo (actuadores).

La Fuente de Alimentación es la encargada de convertir la tensión de la red, 220 o 110 VCA, a baja tensión de CC, normalmente 24 V. Siendo esta, la tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forman parte del autómatas programable.

Se usa un dispositivo de programación para introducir las instrucciones deseadas. Estas instrucciones especifican lo que debe hacer el autómatas según una entrada específica. La terminal o consola de programación es la que permite comunicar al operario con el sistema. Las funciones básicas son las siguientes:

- Transferencia y modificación de programas

- Verificación de la programación

➤ Información del funcionamiento de los procesos

Como consolas de programación pueden ser utilizadas las construidas específicamente para el PLC, tipo calculadora o bien un ordenador personal, PC, que soporte un “software” especialmente diseñado para resolver los problemas de programación y control.

El programa de un PLC puede crearse de varias formas: a través de instrucciones parecidas al lenguaje ensamblador (assembler), en lista de instrucciones, el lenguaje de alto nivel orientados al problema, tales como el texto estructurado, o en forma de diagrama de flujo como se representa en el diagrama de funciones secuencial.

Desde 1992, existe un estándar internacional para controles lógicos programables y dispositivos periféricos asociados (herramientas y programación y diagnosis, equipos de verificación, interfaces hombre-máquina, etc.). En este contexto, un dispositivo configurado por el usuario y compuesto por los elementos citados anteriormente, se conoce como un sistema PLC.

El nuevo estándar IEC 1131 consta de cinco partes:

Parte 1: Información general

Parte 2: Requerimientos y verificaciones del equipo

Parte 3: Lenguajes de programación

Parte 4: Directrices para el usuario

Parte 5: Especificación del servicio de mensajes

3.4.2. Adquisición de datos con PLC

SCADA, acrónimo de “Supervisory Control and Data Acquisition (en español, Control supervisor y adquisición de datos)”. Comprende todas aquellas soluciones de aplicación para referirse a la captura de información de un proceso o planta industrial (aunque no es absolutamente necesario que pertenezca a este ámbito), para que, con esta información, sea posible realizar una serie de análisis o estudios con los que se pueden obtener valiosos indicadores que permitan una retroalimentación sobre un operador o sobre el propio proceso, tales como:

- Indicadores sin retroalimentación inherente (no afectan al proceso, sólo al operador)
- Estado actual del proceso. Valores instantáneos
- Desviación o deriva del proceso. Evolución histórica y acumulada.
- Indicadores con retroalimentación inherente (afectan al proceso, después al operador)
- Generación de alarmas
- HMI Human Machine Interface (Interfaces hombre-máquina).

Toma de decisiones: Mediante operatoria humana o Automática (mediante la utilización de sistemas basados en el conocimiento o sistemas expertos).

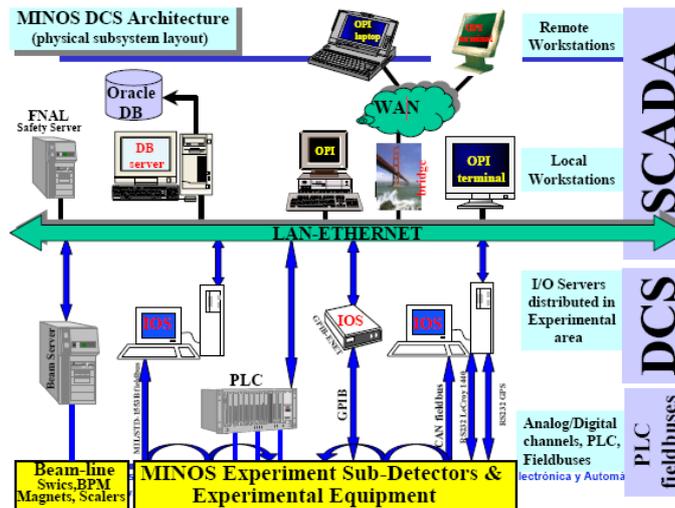


Figura 14. Sistema de adquisición de datos.

Un sistema de adquisición de datos se puede utilizar para: Monitorizar procesos químicos, físicos o de transporte en sistemas de suministro de agua, para controlar la generación y distribución de energía eléctrica, de gas o en oleoductos y otros procesos de distribución y de procesamiento, en donde sea posible medir alguna variable. Gestión de la producción (facilita la programación de la fabricación); Mantenimiento (proporciona magnitudes de interés tales para evaluar y determinar modos de fallo, índices de Fiabilidad, entre otros; Control de Calidad (proporciona de manera automatizada los datos necesarios para calcular índices de estabilidad de la producción, administración (actualmente pueden enlazarse estos datos del SCADA con un servidor ERP (Enterprise Resource Planning o sistema de planificación de recursos empresariales), e integrarse como un módulo más); Tratamiento histórico de información (mediante su incorporación en bases de datos).

3.5. Sensores para control de fluidos

Sensores de presión. La presión está definida como la fuerza por unidad de superficie: $p = F/A$, en el sistema internacional de medidas (SI) está normalizada en pascal, el cuál a su vez es igual a 1Newton/m² Y se diferencian:

- La presión absoluta, que se mide con relación al cero absoluto de presión
- La presión atmosférica es la presión ejercida por la atmósfera terrestre.
- La presión relativa es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica.
- La presión diferencial es la diferencia entre dos presiones
- El vacío es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica y la presión absoluta, cuando esta es menor a la atmosférica.

Unidades de medida.

Sistema Métrico: kgf/cm².

Países de habla inglesa: PSI (pound/square inch).

Conversión: 1 libra = 0,4516 kg y 1 pulgada = 2,54 cm

1 kg/cm² = 14,223 PSI

Unidades más utilizadas.

**1 atm = 760 mmHg(0°C) = 762,4 mmHg(20°C) =
= 10.351 mmca(20°C) = 1,033 kgf/cm² = 14,696 PSI =
= 101,325 kpa(N/m²) = 1,01325 bar = 407,2 "H₂O.**

Los instrumentos de presión pueden clasificarse en función del mecanismo de transducción en:

Mecánicos (comúnmente llamados manómetros): diferenciándose los primarios (tubos U, barómetros y otros que no tienen aplicación en industrias), los de tubo bourdon, los de diafragma, los de fuelle y los de presión absoluta.

Electromecánicos/electrónicos.

Instrumentos Mecánicos

Bourdon: A nivel industrial los elementos mecánicos más empleados son el tubo Bourdon, el espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle. El tubo Bourdon es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo y el tubo se encuentra cerrado en un extremo.

El principio de funcionamiento consiste en un tubo de sección con forma de elipse. Al ser sometido a presiones crecientes las fuerzas resultantes sobre las distintas áreas del bourdon tienden a darle forma circular, produciendo un movimiento del extremo del bourdon que es función de la presión. Al aumentar la presión dentro del tubo, este se deforma, y el movimiento se transmite a la aguja indicadora. Empíricamente se halla el tubo adecuado al rango de presión deseado



Figura 15. Sensor Bourdon

Diafragma: El manómetro diafragma consiste en una o varias cápsulas circulares conectadas rígidamente entre sí por soldadura, de forma que al aplicar la presión, cada cápsula se deforma y la suma de los pequeños desplazamientos es amplificada por un juego de palancas. El material del diafragma es normalmente aleación de níquel o inconel. Se utiliza en pequeñas presiones.

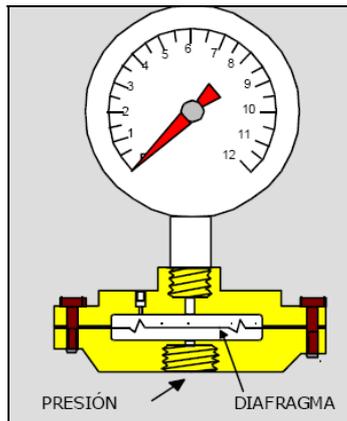


Figura 16. Manómetro de diafragma

Existen elementos huecos con forma de fuelle cerrados en un extremo, que se utilizan para las mediciones de presión. Del fuelle se aprovecha la capacidad de generar importantes movimientos o fuerzas al ser sometido a una presión de proceso. Se utiliza como material para construcción de fuelles el cobre, el acero inoxidable y si es necesario materiales especiales.

Fuelle: El fuelle es parecido al diafragma compuesto, pero de una sola pieza flexible axialmente y puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable.

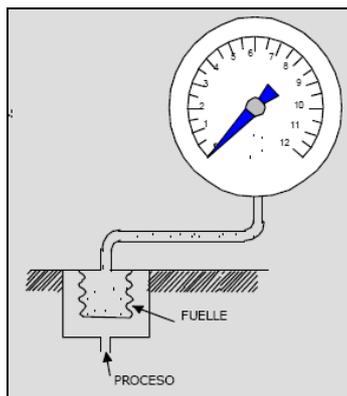


Figura 17. Sensor tipo Fuelle

El diafragma es una fina lámina de metal generalmente circular soportada por sus bordes y que se deforma por la aplicación de presión. Puede ser una chapa lisa

pero lo más común es que sea corrugada. La deformación que sufre la lámina es función de la presión ejercida. Los elementos de fuelle se caracterizan por su larga duración de hasta algunos millones de ciclos de flexión. El material empleado es usualmente bronce fosforoso. Se emplea para pequeñas presiones.

Presión absoluta: Estos manómetros contiene dos fuelles y resortes, estando uno de los fuelles sellado y al vacío. El movimiento resultante de los dos sistemas genera la suma de la presión del fluido más la presión atmosférica. Es el mismo principio de un manómetro diferencial, sólo que este es más general y puede conectarse a cualquier otra presión diferente de la atmosférica.

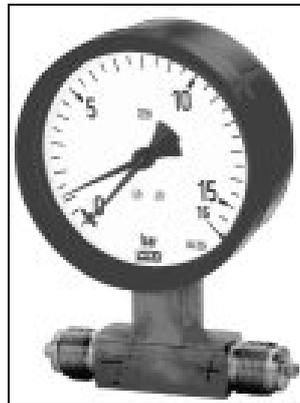


Figura 18. Manómetro de Presión Absoluta

Instrumentos electromecánicos. Estos sensores utilizan igualmente dispositivos mecánicos elásticos, combinados con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente. El elemento mecánico puede ser un tubo de Bourdon, espiral, hélice, diafragma o fuelle o combinaciones de todos estos.

Por el principio de transducción se pueden agrupar en:

Resistivos: La variación de movimiento del elemento mecánico (normalmente un tubo Bourdon) se combina con un sistema de variación de resistencia por potenciómetro. Este puede ser una barra continua o un arrollamiento en bobina. El material utilizado como resistencia puede ser el grafito. Generalmente esta

resistencia forma parte de un puente de Wheatstone. Estos transductores son simples y permiten el manejo de potencias de señal suficientes para no usar amplificadores. Sin embargo no poseen una alta resolución y son sensibles a vibraciones y a las condiciones ambientales. El rango de trabajo está definido por el transductor mecánico.

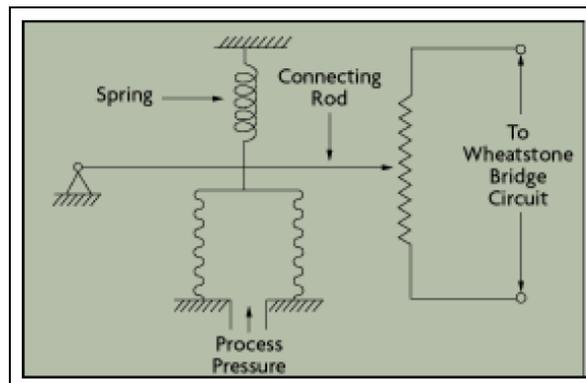


Figura 19. Sensores de presión resistivos

Magnéticos:

Reluctancia variable. Tecnología Reluctancia Variable: El arreglo constructivo consiste en montar dos núcleos magnéticos (típicamente de ferrito) solidarios a cada lado de un diafragma sensor. Estos núcleos se desplazan en el interior de dos bobinas produciendo un cambio de reluctancia (la reluctancia es el equivalente a la resistencia eléctrica pero en un circuito magnético). Un circuito eléctrico, que excita a las bobinas con una corriente alterna de aproximadamente 5 kHz mide la variación de las impedancias de las bobinas y la transforma en una señal de salida de 4-20 mA.

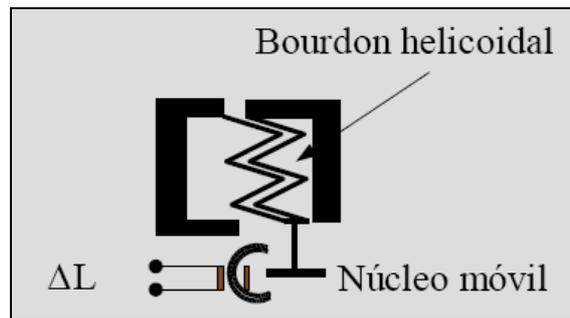


Figura 20. Sensores de presión Magnéticos

Capacitivos: En este sistema se utiliza el hecho de que un capacitor modifica su capacitancia en función de la distancia entre sus dos placas. Si se incluye alguno de los elementos primarios entre las placas de un capacitor, los desplazamientos debidos a variaciones de presión en el fluido producirán cambios del valor de la capacidad, que podrán ser utilizados por circuitos eléctricos para producir la señal adecuada de salida. Se basan en la variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión.



Figura 21. Sensores de Capacitivos

Los transductores capacitivos se caracterizan por su pequeño tamaño y construcción robusta. Su señal de salida es débil por lo que precisan de amplificadores con el riesgo de introducir ruidos. Así también son sensibles a las variaciones de temperatura y oscilaciones mecánicas.

Galgas extensiométricas: Se configuran normalmente en dos formas.

Se forman varios bucles de hilo fino y se fijan a un folio plástico cerámico o papeles especiales con características flexibles, de modo que soporten tracción. Los bucles resistivos se encuentran dentro de una estructura armada, siendo móvil una de paredes del armazón, de manera que puede transmitir la presión que recibe a la galga. La galga normalmente forma parte de un puente Wheatstone, con una pequeña tensión nominal, operando el puente en condición de equilibrio. Cualquier variación de presión que mueva el diafragma del transductor cambia la resistencia de la galga y desequilibra el puente.

La disposición de las galgas en el sistema de medición debe responder a la aritmética del puente Wheatstone, en función al resultado deseado:

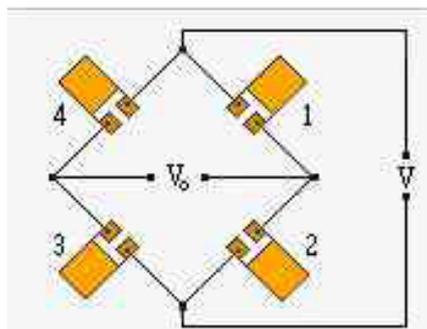


Figura 22. Galgas extensiométricas.

La relación entre tensión de alimentación y la tensión del puente, en un circuito formado por galgas responde de la siguiente manera:

U_o/U es proporcional a la suma algebraica de los cambios en brazos opuestos (1y 3; 2 y4)

U_o/U es proporcional a la diferencia algebraica de los cambios en brazos adyacentes(1 y 2; 2 y 3; 3 y 4 ; 4 y 1).

Piezoeléctricos: El fenómeno piezoeléctrico consiste en el cambio de las características eléctricas de ciertos elementos sometidos a deformación. Estos cambios pueden sensarse y transformarse en señales transmisibles. Los

movimientos de los elementos primarios actúan sobre la pastilla piezoeléctrica, la que produce cambios eléctricos que son convertidos en señales normalizadas por medio de circuitos eléctricos.

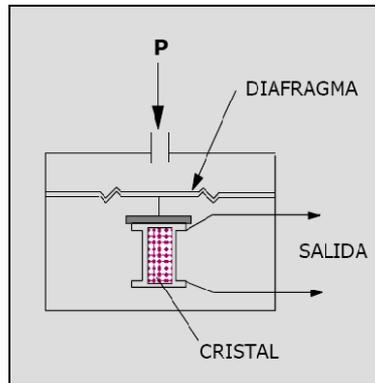


Figura 23 Sensores de presión Piezoeléctrico

4. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Se tiene un sistema hidroflo como se describió en anteriormente. Este sistema instalado, está presentando algunos problemas los cuales requieren ser corregidos, por lo cual, Cerro Matoso desea automatizar este proceso, para darle solución a los problemas y brindarle un mejor servicio a sus ciudadelas.

Actualmente se cuenta con un sistema de agua potable el cual es comandado por un Hidroflo con comportamiento ON/OFF, como el que se muestra en la Figura 24.

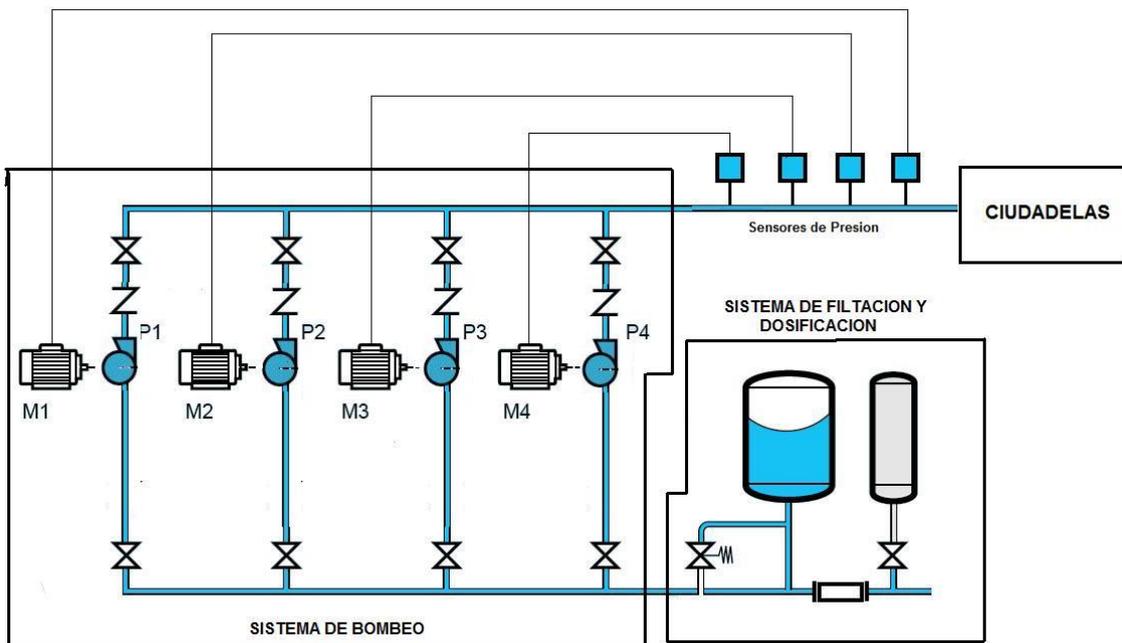


Figura 24. Sistema de Bombeo Existente

El montaje consta de cuatro (4) bombas para el suministro de agua potable a las ciudadelas. Las bombas son controladas por una serie de switches de presión que tienen un setpoint con diferentes rangos para el encendido y apagado de dichas bombas.

El sistema está presentando las siguientes anomalías:

- Debido a las características (ON/OFF) del control los picos de presión manejados, están produciendo golpe de ariete generando fugas en las

tuberías y válvulas, las cuales se traducen en horas de mantenimiento y desperdicio del agua tratada.

- Alta frecuencia en el prendido y apagado de las bombas encargadas de la presurización traducidos en altos consumos de energía y reemplazo de las bombas por daños en rodamientos.

- Arduo procedimiento para escoger la presión de trabajo.

Además, la demanda de agua de los sistemas de suministro varía de forma considerable a lo largo del día. Por la noche no se gasta prácticamente nada de agua, mientras que por la mañana y a última hora de la tarde el consumo es alto. Esto implica que la capacidad de bombeo se este desperdiciando cuando se mantiene trabajando a toda su capacidad a lo largo del día. Entonces se pretende instalar un nuevo modelo de control que brinde un suministro de agua ajustable automáticamente a la demanda, con presión constante.

4.1. SOLUCION

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

Los sistemas de velocidad variables se pueden aplicar en aquellos sistemas en donde se requiere regular el flujo a diferentes cargas. Los organismos operadores de agua potable tienen un gran potencial de ahorro de energía mediante la aplicación de velocidad variable a sus sistemas de bombeo directo a la línea, ya que éste es el caso donde la carga es variable.

En muchas ocasiones es preciso trabajar durante mucho tiempo en condiciones de caudal inferiores al nominal. En esta situación se pueden realizar planteamientos que permitan ahorros energéticos considerables, implantando sistemas de regulación de caudal más apropiado.

Uno de los casos más frecuentes es aquel en donde por requerimientos del proceso, la curva "Carga-Capacidad" del sistema varía, debido a que en el sistema existen varios usuarios y cada uno de ellos demanda más o menos gasto como función de sus propias necesidades. Esto, visto desde la bomba, representa variaciones en la curva del sistema, por lo que continuamente varía el gasto y la carga.

En sistema de control que garantice el mismo gasto a los usuarios a pesar de que algún otro usuario haya cambiado su régimen de demanda, lo encontramos en la variación de la curva de la bomba, simultáneamente con la variación de la curva del sistema, de manera tal que se mantenga la carga del sistema en cualquier condición de operación. La Figura 25 27 ilustra el proceso.

Obsérvese como ante una variación de la curva del sistema, el control ajusta la velocidad de la bomba para mantener la carga H_1 , y suministrar el gasto Q_2 que el sistema realmente está demandando.

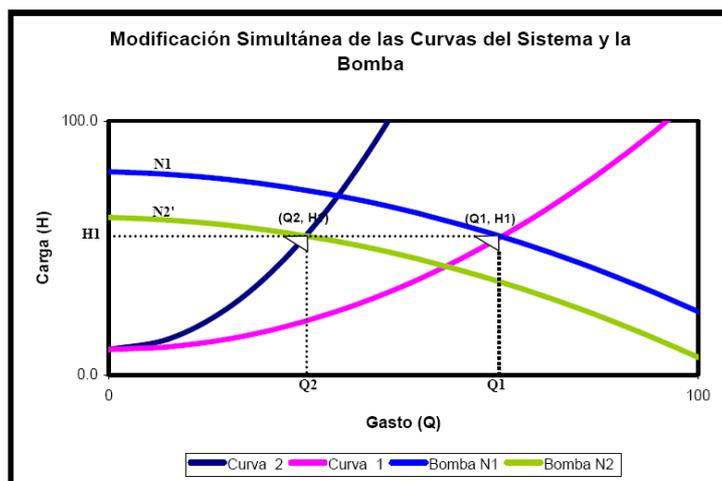


Figura 25. Variación simultánea de las curvas del sistema y la bomba

Con todos los problemas mencionados anteriormente se desea instalar un sistema de suministro de agua potable que cumpla con los siguientes objetivos:

- Garantizar una distribución sin corte con una presión constante.
- Eliminar cualquier golpe de ariete que pueda acarrear la fatiga prematura de las instalaciones hidráulicas, y limitar las caídas de tensión en el arranque de cada bomba.
- Repartir la carga en las distintas bombas de modo que tenga horas de operación similares.
- Garantizar el funcionamiento automático de la instalación, sin presencia humana, y poder por lo tanto disponer a distancia de todos los datos útiles para la supervisión.

Además, Cerro Motoso requiere que el sistema tenga ciertas condiciones especiales tales como:

Que el sistema automatizado debe ser un sistema aparte del sistema actual, donde el sistema actual quedara como un backup. Al momento de que el sistema automatizado sufra daño en alguno de sus elementos, se podrá hacer un bypass al sistema anterior para poder asegurar un servicio continuo.

Que el variador pueda ser permutado entre los cuatro motores, para así, asegurar que no haya un desgastamiento en los motores.

4.2. FUNCIONAMIENTO AUTOMATICO

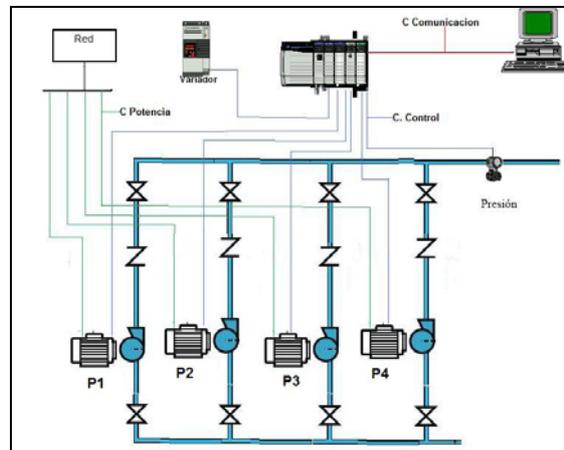


Figura 26. Sistema de bombeo Automatizado.

Una de las bombas tiene velocidad de rotación variable, las demás son de velocidad fija. La presión se regula variando la velocidad de una de las 4 bombas alimentada por el variador de velocidad. Cuando el consumo de agua es bajo, esta bomba es la única que está en servicio, con la velocidad necesaria para el suministro solicitado. Si el consumo aumenta, desde el momento en el que esta bomba alcanza su velocidad

máxima e ira variando, las otras bombas van arrancando sucesivamente para proporcionar el caudal necesario pero manteniendo una presión constante. La bomba de velocidad variable adapta su caudal para regular la presión y para compensar la diferencia del caudal faltante. Si se reduce el consumo, el proceso se invierte y se disparan sucesivamente las bombas de velocidad fija. Para evitar golpes de ariete, el arranque y la parada de las bombas de velocidad fija se realiza de forma progresiva. La distribución sin cortes queda asegurada por el fraccionamiento del caudal en varias bombas y por múltiples dispositivos de seguridad y redundancias.

La presión en la red se regula por ajuste automático del caudal en función de la medida de la presión de salida. Con este fin, la señal analógica 4-20 mA del

transmisor de presión permite a un autómata programable (PLC) elaborar la consigna de velocidad dirigida al variador de velocidad. El autómata reparte la carga gracias a una lógica de permutación diaria que afecta a la bomba de velocidad variable y a las bombas de velocidad fija. Además, para repartir uniformemente los tiempos de funcionamiento en todas las bombas, se realiza una permutación, a la vez en la bomba de velocidad variable y en las bombas de velocidad fija. En caso de disparo térmico de uno de los motores, existe una solución de sustitución automática hacia otra bomba. La teletransmisión permite disponer en todo momento de toda la información necesaria sobre el estado del sistema (Bombas en funcionamiento, velocidad de bomba con variador, presión de salida, etc.), consignados en una panelview para facilidad del operador.

4.3. VENTAJAS

- Ahorro de energía
- Control Automático
- Fácil operación
- Protección eléctrica y mecánica
- Alto desempeño
- Reduce el golpe de ariete
- Mejora la calidad del servicio
- Alarga la vida útil de la instalación y de los motores.
- Maximiza el factor de potencia del motor controlado por el variador.
- Maximiza la eficiencia del motor controlando por el variador.
- Reduce el ruido acústico
- Simplifica el arranque.

4.4. COMPARACIÓN ENERGÉTICA ENTRE MÉTODOS DE REGULACIÓN DE CAUDAL

Se estima que el 65 % de la energía eléctrica utilizada en la industria es consumida por motores eléctricos. No extraña, por lo tanto, que muchos consumidores industriales importantes consideren cada vez más importante reducir su consumo de energía para mejorar su rentabilidad y competitividad. Los accionamientos de velocidad variable reducen el consumo de energía y aumentan la productividad; además, dependiendo de la aplicación, pueden amortizarse en pocos meses.

Una pequeña reducción de la velocidad puede significar una gran diferencia en el consumo de energía y, dado el gran número de sistemas de bombas que funcionan por debajo de su capacidad máxima, los accionamientos de velocidad regulable pueden generar un enorme ahorro. Las leyes de Semejanza de una bomba centrífuga expresan el efecto de las diferentes velocidades y de la semejanza geométrica sobre la capacidad, la altura de elevación y el consumo de energía de la bomba. Más concretamente, la energía necesaria para el funcionamiento de una bomba es proporcional al cubo de la velocidad.

Esto significa que si el 100 % del caudal requiere la máxima potencia, el 75% de caudal requerirá $(0,75)^3 = 42$ % de la máxima potencia y el 50% de caudal requerirá el 12,5 % de la misma.

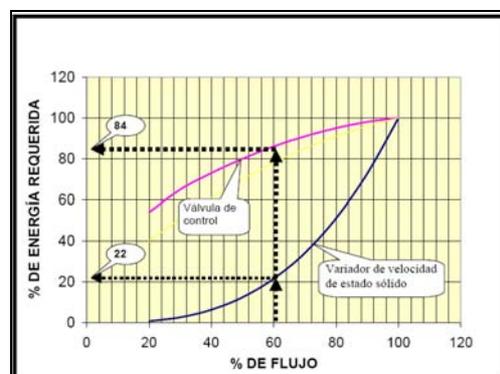


Figura 27. Comparación entre métodos de regulación de flujo.

Puesto que en este caso se utiliza un motor AC, es necesario añadir las pérdidas en el accionamiento de CA, que están entre 2 y 3 % de la potencia nominal. Pero, incluso con estas pérdidas, la eficiencia energética obtenida con accionamientos de velocidad regulable es muy superior a otros métodos.

4.5. CALCULO DE CIRCUITOS RAMALES Y ALIMENTADORES DE LOS MOTORES.

Proteger los motores trifásicos, se ha vuelto una necesidad imperativa para los usuarios de los mismos. La protección de un motor trifásico debe de contemplar problemas asociados a voltajes y al consumo de corriente. Para ello, se requieren de dispositivos que estén en capacidad de supervisar los valores de voltaje y de las corrientes, con que opera el motor. Muchos dispositivos en el mercado ofrecen protección de motores trifásicos, la oferta es amplia y contempla desde los clásicos relés térmicos de sobrecarga, los supervisores electrónicos de voltaje, los relés electrónicos de sobrecarga, hasta las últimas tecnologías de protecciones integrales y las protecciones totales para motores trifásicos. Las dos últimas ofrecen protección al motor procesando digitalmente los valores de las corrientes, de los voltajes y de la temperatura del motor simultáneamente.

Ya que, tenemos un sistema local, y no es catalogado un sistema crítico se instalara un sistema de protecciones sencillo que cumple con lo mostrado en la Figura 28 28.

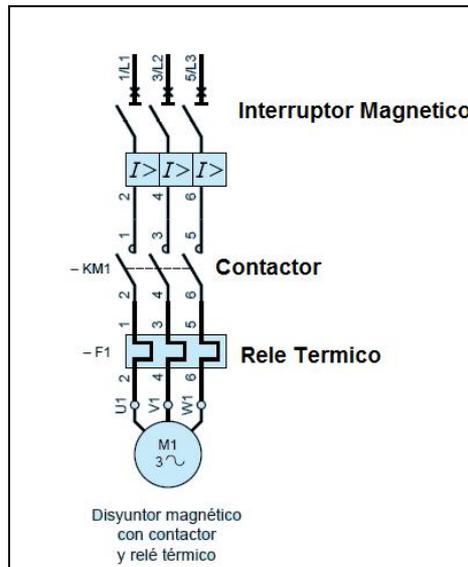


Figura 28. Asociación de Interruptor, contactor y relé térmico

El cual consta básicamente de:

- CONTACTOR + RELE TERMICO + GUARDAMOTOR MAGNETICO

El sistema actual instalado consta de 4 motores en paralelo que cuenta con el sistema de protecciones para el suministro de agua, debido a que el actual es antiguo, y al momento de hacerse el diseño no estaba en vigencia el RETIE, se pudo haber instalado accesorios eléctricos que puedan o no cumplir las condiciones del RETIE, se hará la re calculación de la alimentación principal y los circuitos ramales para poder cumplir con lo estableció en el RETIE y el código eléctrico colombiano NTC2050. Estos cálculos no solo será para poder cumplir las condiciones RETIE del sistema existente, sino para el nuevo sistema propuesto.

Es común que para el diseño de las instalaciones eléctricas de los motores, el encargado del diseño mecánico solo suministre el valor de potencia en HP o Kw de los motores involucrados en los procesos, ya que en la etapa de diseño no se cuenta con los datos de la placa de los motores. En este caso se tienen los datos de placa de los motores actualmente instalado, pero se procederá a elaborar de manera general para que el diseño se maneje de forma general y pueda ser

utilizado para diferentes tipos de sistemas Hidroflo o cualquier sistema en el cual se necesite mantener una presión constante.

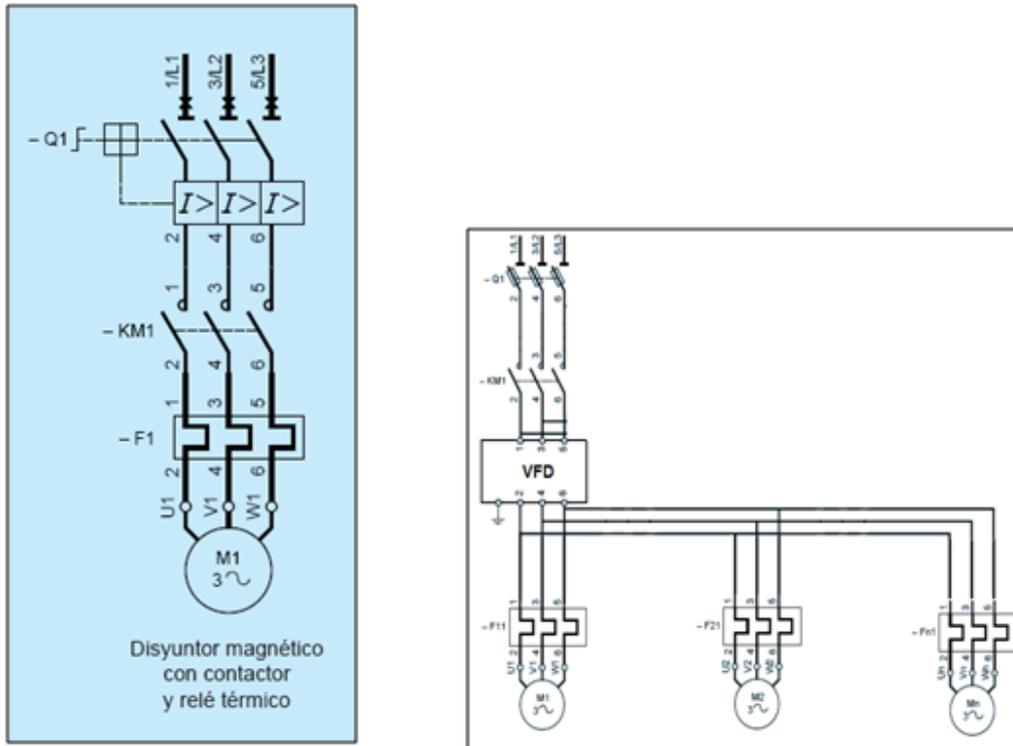


Figura 29. Arranque Directo y. Arranque por variador de velocidad

4.6. CALCULO DE CORRIENTE NOMINAL DEL MOTOR.

Como se menciona anteriormente los motores instalados son de una potencia de 9HP. Estos motores están conectados a una línea de nivel de tensión 480V línea-línea, donde la línea tiene una frecuencia de 60Hz por trabajar en América.

Por lo tanto a continuación se procede a calcular la corriente nominal del motor:

$$I_n = \frac{\frac{P}{\eta}}{\sqrt{3} \cdot V_{LL} \cdot FP}$$

Donde:

In= Corriente nominal del motor en amperios.

P= potencia nominal del motor en vatios.

η = Eficiencia.

VL= Nivel de tensión línea-línea en voltios.

FP= Factor de potencia.

Otra forma para determinar la corriente del motor es utilizando la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 1 (Corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna), la cual muestra los valores típicos de corrientes a plena carga para motores de que funcionan a las velocidades normales de motores y a motores con característica de par normal.

Tabla 1. a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna.

Motores de inducción de jaula de ardilla y rotor bobinado,
Amperios

HP	115 voltios	200 voltios	208 voltios	230 voltios	460 voltios	575 voltios	2300 voltios
½	4,4	2,5	2,4	2,2	1,1	0,9	
¾	6,4	3,7	3,5	3,2	1,6	1,3	
1	8,4	4,8	4,6	4,2	2,1	1,7	
1 ½	12,0	6,9	6,6	6,0	3,0	2,4	
2	13,6	7,8	7,5	6,8	3,4	2,7	
3		11,0	10,6	9,6	4,8	3,9	
5		17,5	16,7	15,2	7,6	6,1	
7 ½		25,3	24,2	22	11	9	
10		32,2	30,8	28	14	11	
15		48,3	56,2	42	21	17	
20		62,1	59,4	54	27	22	
25		78,2	74,8	68	34	27	
30		92	88	80	40	32	
40		120	114	104	52	41	
50		150	143	130	65	52	

Al momento del diseño, todas las aplicaciones de los motores se deben considerar como de servicio continuo, excepto si la naturaleza del aparato movido por el motor es tal que este no puede funcionar continuamente con carga bajo cualquier condición de uso.

Por lo tanto, para poder hallar la corriente nominal del motor, deberá suponerse la eficiencia, el factor de potencia y tomar el nivel de voltaje de acuerdo al sistema que se haya seleccionado.

La eficiencia y el factor de potencia se pueden hallar en tablas de fabricantes o en tablas de valores promedio, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 2. (Rendimiento y factores de potencia medios para motores de inducción polifásicos de jaula de ardilla.).

Tabla 2. Rendimiento y Factor de potencia para motores de inducción.

Hp	Rendimiento			Factor de potencia		
	Media carga	3/4 de carga	Plena carga	Media carga	3/4 de carga	Plena carga
1/2	60	67	69	45	56	65
3/4	64	68	69	48	58	65
1	75	77	76	57	69	76
1 1/2	75	77	78	64	76	81
2	77	80	81	68	79	84
3	80	82	81	70	80	84
5	80	82	82	76	83	86
7 1/2	83	85	85	77	84	87
10	83	85	85	77	86	88
15	84	86	88	81	85	87
20	87	88	87	82	86	87
25	87	88	87 1/2	82	86	87
30	87 1/2	88 1/2	88	83	86 1/2	87
40	87 1/2	89	89 1/2	84	87	88
50	87 1/2	89	89 1/2	84	87	88
60	88	89 1/2	89	84	87	88
75	88 1/2	89 1/2	89 1/2	84	87	88
100	89	90	90 1/2	84	88	88
125	90	90 1/2	91	84	88	88
150	90	91 1/2	92	84	88	89
200	90	91 1/2	92	85	89	90
250	91	92 1/2	93	84	89	90
300	92	93 1/2	94	84	89	90

Por lo tanto se tiene que:

$$P = 9 \text{ Hp.}$$

$\eta = 0,85$ (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para motor de 10Hp).

$V_L = 480 \text{ v.}$

$FP = 0,88$ (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para motor de 10Hp)

Con estos valores se tiene que:

$$I_n = \frac{\frac{9 * 746W}{0,85}}{\sqrt{3} * 480 * 0,88}$$

$$I_n = 11 \text{ Amp}$$

Como se puede observar en la corriente calculada, y observando la tabla **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (Corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna) de la Norma Técnica colombiana (NTC 2050)., el valor calculado es un valor acorde con lo establecido en la tabla para un motor de 10Hp a 460 v, donde nuestro motor es de menor capacidad (9Hp) y un valor de voltaje de 480v.

Nota: Se utiliza el aproximado de un motor de 10 Hp para la escogencia del rendimiento y el factor de potencia según la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. 2.**

4.7. CALCULO DE ALIMENTADORES PARA MOTORES

Para el cálculo de los conductores de los cables de acometida de los motores y los respectivos de los alimentadores principales, se hará en base al diagrama unifilar mostrado en la Figura 30

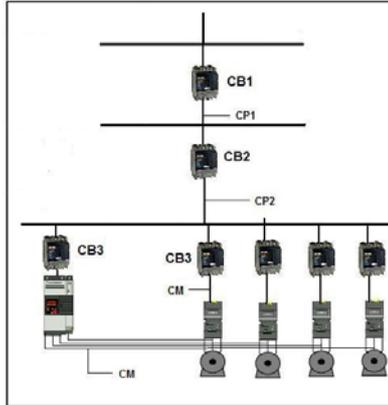


Figura 30. Diagrama unifilar del circuito

Con lo mostrado en el diagrama unifilar se procede a hacer el cálculo de todos los conductores necesarios en el sistema.

Los conductores de los circuitos ramales que alimenten un solo motor deben tener una capacidad de corriente no menor al 125 % de la corriente nominal del motor a plena carga.

$$I_{CM} = 1,25 \times I_{nM}$$

Otra forma para determinar la sección transversal de los conductores que alimentan los motores, se debe elegir según las Tablas 310-16 hasta 310-19 o calcular de acuerdo con el Artículo 310-15.b establecidas en la norma técnica (NTC 2050). La capacidad de corriente nominal y otros parámetros nominales requeridos de los motores se deben determinar teniendo en cuenta las tablas establecidas en esta norma.

De la fórmula para el cálculo de corriente anterior, tenemos:

$$I_{CM} = 1,25 \times 11A$$

$$I_{CM} = 13.75A$$

Con el cálculo anterior y lo establecido en las normas de CMSA donde los cables de baja tensión deben ser cables multiconductores, de cobre recogido, del tipo cableado concéntrico, clase B, compuesto por conductores de calibre AWG más conductor de tierra, con aislamiento en PVC para 12 AWG o más pequeños y para mayores X-L-P (CROSS-LINKED POLYETHYLENE), con coraza en aluminio corrugado continuo, impermeable, chaqueta exterior en PVC, aptos para montaje en bandeja portacables, resistente a los rayos solares y para enterramiento directo.

Donde, como fabricantes homologados, los cuales cumplen estos criterios se tendrán las marcas Okonite, Southwire y NEXANS, bajo las siguientes categorías:

Okonite C-L-X Type MC-HL (XHHW-2), CSA, U.L. Listed. 600V, Copper Conductors, CSA, U.L. Listed.

Southwire ARMOR-X 600 Volt Cable armado con conductores tipo XHHW-2.

Con todos los requerimientos de corriente y de fabricantes homologados se hace la selección de un conductor 3 conductores de 12AWG de la marca OKONITE referencia 546-31-3453 el cual puede transportar una capacidad de corriente de 20A y tiene las siguientes características:



Figura 31. Conductor OKONITE

C-L-X® Type MC-HL (XHHW-2), 600V Power Cable-Aluminum Sheath, Multiple Copper Conductors/90°C Wet or Dry Rating For Cable Tray Use - Sunlight Resistant - For Direct B.

Todos los datos extras sobre este conductor se encuentran en el ANEXO 2 (OKONITE PRODUCT DATA).

Este conductor no tiene certificado RETIE, pero cumple con certificado UL y con todos los requisitos establecidos en el NEC

4.8. CALCULO DE ALIMENTADORES PRINCIPALES

En esta sección se hará el cálculo de los conductores Icp1, Icp2 que están referenciados en la figura 33.

Cuando el circuito derivado alimenta más de un motor, la capacidad de corriente del conductor principal debe tener una capacidad de corriente como mínimo igual a la suma de las corrientes a plena carga de todos los motores, más el 25 % de la capacidad de corriente del mayor motor del grupo, más la capacidad de corriente de todas las demás cargas, de acuerdo con lo establecido en la Sección 220 y otras disposiciones aplicables del código (NTC 2050). Entonces, 1,25 veces la corriente a plena carga del motor más grande (I_{nM}), mas la suma de las corrientes a plena carga del resto de los motores:

$$I_{CP} = 1,25 \times I_{nM} + \sum I_{ni}$$

Por lo que se tiene:

$$I_{CP2} = 1,25 \times 11 + \sum 11A_{M2} + 11A_{M3} + 11A_{M4}$$

$$I_{CP2} = 13.75 + \sum 33A$$

$$I_{CP2} = 46.75A$$

Pero este sistema de potencia cuenta con una carga adicional del circuito de control el cual es protegido aguas arriba del transformador de control por un breaker de 10. Este dato adicional debe ser sumado a la corriente total para determinar el alimentador principal.

$$I_{cp2} = I_{cpf} + I_{\text{circuito control}}$$

$$I_{cp2} = 46.75A + 10A$$

$$I_{cp2} = 56.75A$$

Con todos los requerimientos de corriente y de fabricantes homologados se hace la selección para Icp2 un conductor 3 conductores de 6AWG, marca OKONITE referencia 571-31-3191 el cual puede transportar una capacidad de corriente de 65A .

Para motores de velocidades múltiples, la selección de los conductores del circuito ramal en el lado del suministro del controlador se debe basar en la mayor de las corrientes nominales a plena carga que aparezca en la placa de características del motor; la selección de los conductores del circuito ramal entre el controlador y el motor se debe basar en la corriente nominal del devanado o devanados que energicen esos conductores.

Como el variador de velocidad solo alimentara un (1) solo motor cuando este en operación, el conductor será el mismo que se determinara en lado del suministro

del controlador, lo cual será el mismo conductor que se selecciono para los motores de velocidad constante; 3 conductores de 12AWG, marca OKONITE referencia 546-31-3453 el cual puede transportar una capacidad de corriente de 20A

Para el cálculo de I_{cp1} se tiene en consideración la corriente transportada por el conductor ya seleccionado de I_{cp2} . Pero I_{cp1} , se selecciona con un calibre menor, por si en un futuro se requiere una ampliación del sistema, este pueda tener la capacidad de carga necesaria.

Con todos los requerimientos de corriente y de fabricantes homologados se hace la selección para I_{cp1} un conductor 3 conductores de 4AWG, marca OKONITE referencia 571-31-3200 el cual puede transportar una capacidad de corriente de 85A.

4.9. CALCULO DEL CONTACTOR DE POTENCIA

De acuerdo a la NTC 2050 articulo 430-82 (Diseño del controlador), un controlador que va a manejar el arranque y parada de un motor, debe ser capaz de arrancar y parar el motor que controla y de interrumpir la corriente a rotor bloqueado del motor.

La NTC 2050 determina que el controlador o contactor debe cumplir con la condición expresada en el articulo 430-83 (Capacidad nominal) donde; El controlador debe tener una potencia nominal en W (HP) a la tensión de aplicación, no menor que la potencia nominal del motor.

Para elegir el contactor que más se ajusta a nuestras necesidades, se debe tener en cuenta los siguientes criterios y es necesario conocer las siguientes características de la carga:

- La tensión nominal de funcionamiento, en voltios (V).
- La corriente de servicio (I_e) que consume, en amperios (A).
- Frecuencia de la red
- Potencia nominal de la carga, en Hp o Kw,

Los contactores son aparatos robustos que pueden ser sometidos a exigentes cadencias de maniobras con distintos tipos de cargas. La norma IEC 947-4 define distintos tipos de categorías de empleo que fijan los valores de la corriente a establecer o cortar mediante contactores.

Teniendo los datos necesarios para el dimensionamiento del contactor, hace falta determinar la categoría de empleo en la cual nuestra aplicación pertenece. Nuestra aplicación está en la Categoría AC3 donde: Se refiere a los motores de jaula, y el corte se realiza a motor lanzado. Al cierre, el contactor establece la intensidad de arranque con 5 a 7 veces la intensidad nominal del motor. A la apertura, corta la intensidad nominal absorbida por el motor. En este momento la tensión en los bornes de sus polos es del orden del 20% de la tensión de la red, por lo que el corte es fácil. Ejemplos: Todos los motores de jaula, ascensores, escaleras mecánicas, compresores, bombas, ventiladores, etc.

De lo mencionado anteriormente, y analizando el sistema, tenemos que:

$$P_M = 9Hp \quad V_{E-L} = 480v \quad f = 60Hz \quad I_n = 11A$$

Entre todos los proveedores de arrancadores para motores se selecciono la marca General Electric, por su gran confiabilidad en materiales para circuitos de fuerza. Se selecciona según los datos del fabricante el contactor de referencia CL02A310TJ, el cual es diseñado para una potencia de 10Hp.

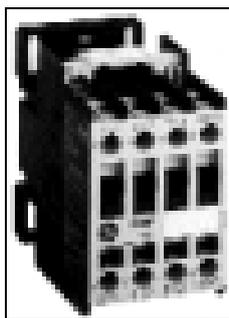


Figura 32. Contactor General Electric,

Donde alguna de sus características están mostradas en la siguiente grafica dada por el fabricante.

Contactor Selection and Data		Hp @ 460V AC-3 (kW @ 380/415V, 50 Hz)		
		5 hp (4 kW)	7.5 hp (5.5 kW)	10 hp (7.5 kW)
AC Contactors	Full Voltage Non-Reversing	CL00A310T*	CL01A310T*	CL02A310T*
	Reversing	LAR00A*	LAR01A*	LAR02A*
DC Contactors	Full Voltage Non-Reversing	CL00D310T*	CL01D310T*	CL02D310T*
	Reversing	LDR00A*	LDR01A*	LDR02A*
Aux. Contacts	Maximum Aux. Contacts	4	4	4
	Maximum Contact Block Configuration	4 Front-Mount or 1 Side-Mount on each side		
Aux. Contacts (A600, P600) (Built in)		1NO	1NO	1NO
Continuous Amp Rating (UL)		25	25	32
AC-1 Amperes (IEC)		25	25	32
AC-2/AC-3	Max. FLA	10	13.8	17.5
	Max. Hp (1-Phase)			
	115 Volts	.5	.75	1
	230 Volts	1.5	2	3
	Max. Hp (3-Phase)			
	200 Volts	3	3	5
230 Volts	3	3	5	
460 Volts	5	7.5	10	
575 Volts	7.5	10	15	
Mechanical Life (millions of operations)		20	20	20
Elec. Endurance (AC-3) At Rated Current (millions of operations)		2	2	1.8
Maximum Operational Current 460V and below	AC-1 ≤ 1200 ops./hour	25	25	32
	3000 ops./hour	12.5	12.5	16
	AC-3 ≤ 1200 ops./hour	10	13.8	17.5
	3000 ops./hour	3.5	4.8	6.1
	AC-4 360 ops./hour max	10	13.8	17.5

Coil Selection

AC Voltage		DC Voltage	Coil * Suffix
60 Hz	50 Hz		
24	24	—	1
—	—	12	B
—	—	24	D
48	42	—	F
—	—	48	G
120	110	—	J
—	—	125	K
208	—	—	L
277	220/230	—	N
240	—	—	S
—	—	250	T
480	380/400	—	U
—	415	—	W
600	500	—	Y

Figura 33. Guía de selección para contactor General Electric

4.10. CALCULO DE PROTECCION CONTRA CORTOCIRCUITOS

Todo motor deberá contar con una protección de cortocircuito. Esta protección se dimensionará de modo tal que sea capaz de soportar sin operar, la corriente de partida del motor. La capacidad nominal de las protecciones de cortocircuito de un motor se dimensionará comparando la característica de la corriente de partida y el correspondiente valor durante el período de aceleración del motor o máquina, si es que el motor parte acoplado a su carga, con la curva de respuesta de la protección seleccionada de modo que ésta no opere bajo condiciones normales de partida.

El dispositivo de protección contra cortocircuitos y fallas a tierra del circuito ramal, debe ser capaz de transportar la corriente de partida del motor. Se debe emplear un dispositivo protector con una corriente nominal o un valor de disparo que no supere el valor calculado de acuerdo con lo establecido en la Tabla 430-152.

Tabla 3. Intensidad máxima admisible o de disparo de los dispositivos de protección de los circuitos derivados de motores contra cortocircuitos y faltas a tierra

En porcentaje de la intensidad a plena carga				
Tipo de motor	Fusible sin retardo**	Fusible con retardo (de dos componentes)**	Interruptor automático de disparo instantáneo	Interruptor automático de tipo inverso*
Monofásico	300	175	800	250
Polifásico de c.a. sin rotor bobinado				
De jaula de ardilla:				
Todos menos los de Tipo E	300	175	800	250
Los de Tipo E	300	175	1100	250
Síncronos#	300	175	800	250

Con rotor bobinado	150	150	800	150
De c.a. (tensión constante)	150	150	250	150

Con lo especificado en la NTC 2050 en la sección 430-52, se tiene:

$$I_{nm} = 11A$$

Como se tiene un motor jaula de ardilla se tiene de la tabla:

$$I_{breaker} = I_{nm} \times 800$$

$$I_{breaker} = 11A \times 800$$

$$I_{breaker} = 8.8KA$$

El dispositivo debe tener una corriente de corto circuito como mínimo de 8.8KA

Se desea utilizar como dispositivo de protección un interruptor automático, con una intensidad nominal de disparo de ocho veces la corriente nominal en régimen permanente del motor, por lo tanto:

$$I_{proteccion} = I_{nm} \times 8$$

$$I_{proteccion} = 11A \times 8$$

$$I_{proteccion} = 88A$$

Nota: la corriente de corto circuito es aquella que se produce, en este caso, en bornes del motor o en algún punto del circuito, cuando hay contacto ente fases o entre una fase y tierra , pudiendo ésta alcanzar valores mucho mayores de los 88A establecidos anteriormente dependiendo de la impedancia que exista hasta.

Se escoge la marca general electric del circuit breaker para la protección del motor, cable y otros elementos conectados aguas debajo de este.

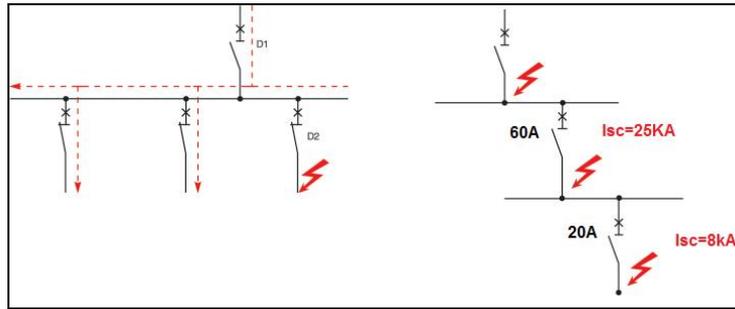


Figura 34. Selectividad de cortocircuitos

Para tener una mejor protección en el sistema el circuit breaker de la acometida principal tendrá una capacidad de corto circuito mayor a la capacidad de cortocircuito de los alimentadores de motores, como es mostrado en la Figura 34 37.

➤ CB1

Para el alimentador principal se escoge un interruptor con una capacidad de 100A y una capacidad de cortocircuito de 50KA. Este interruptor es marca general electric serie TED ref.: TED1340100WL.

➤ CB2

Para el alimentador principal se escoge un interruptor con una capacidad de 80A y una capacidad de cortocircuito de 25KA. Este interruptor es marca general electric serie TED ref.: TED134080WL.

➤ CB3

Para los alimentadores de motores se escoge un interruptor con una capacidad de 20A y una capacidad de cortocircuito de 10KA. Este interruptor es marca general electric serie TED ref.: TED134020WL.

➤ CB3 - Variador

Para el alimentador principal del variador, se escoge un interruptor con una capacidad igual al interruptor escogido para los alimentadores de los motores. Se escoge un interruptor de 20A y una capacidad de cortocircuito mayor; por selectividad se escoge de 25KA. Este interruptor es marca general electric serie TED ref.: TED134020WL.



Figura 35. Circuit breaker general electric

Todos los datos para la selección del interruptor fueron tomados de la guía de selección del mismo fabricante, y fueron seleccionadas con las graficas mostradas a continuación, las cuales son suministradas por el fabricante.

Product Number Structure

Ampere Rating	Type TED	Type THED, Hi-Break ⁴
	480 Vac, 250 Vdc	480 Vac, 250 Vdc
	Product Number	Product Number
10	TED124010WL ²	—
15	TED124015WL	THED124015WL
20	TED124020WL	THED124020WL
25	TED124025WL	THED124025WL
30	TED124030WL	THED124030WL
35	TED124035WL	THED124035WL
40	TED124040WL	THED124040WL
45	TED124045WL	THED124045WL
50	TED124050WL	THED124050WL
60	TED124060WL	THED124060WL
70	TED124070WL	THED124070WL
80	TED124080WL	THED124080WL
90	TED124090WL	THED124090WL
100	TED124100WL	THED124100WL
110	TED124110WL	—
125	TED124125WL	—
150	TED124150WL	—

Figura 36. Guía de Selección de circuit breaker general electric.

4.11. PROTECCION CONTRA SOBRECARGA

De acuerdo con la sección 430-33 de la NTC 2050, se permite que un motor utilizado para una condición que es inherentemente de servicio por corto tiempo, intermitente, periódica o variable, como se indica en la Tabla 430-22.a), Excepción, esté protegido contra sobrecargas por el dispositivo protector del circuito ramal contra cortocircuitos y falla a tierra, siempre que la capacidad nominal o ajuste de disparo del dispositivo protector no supere los valores indicados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 3.

Todas las aplicaciones de los motores se deben considerar como de servicio continuo, excepto si la naturaleza del aparato movido por el motor es tal que este no puede funcionar continuamente con carga bajo cualquier condición de uso.

a) De más de 746 W (1 HP). Todos los motores de servicio continuo de más de 746 W (1 HP) nominales deben estar protegidos contra sobrecargas por uno de los medios siguientes:

1) Por un dispositivo independiente de protección contra sobrecarga que sea sensible a la corriente del motor. Este dispositivo se debe programar para que se dispare o debe tener una capacidad nominal no menor al siguiente porcentaje de la corriente nominal por placa de características del motor a plena carga:

Motores con un factor de servicio rotulado no menor a 1,15: 125 %

La corriente máxima de disparo de un motor protegido térmicamente no debe ser mayor que los siguientes porcentajes de la corriente del motor a plena carga, según las Tablas 430-148, 430-149 y 430-150:

Corriente del motor a plena carga entre 9,1 y 20 A: 156 %

Por lo cual tenemos que los datos del motor son:

$P_M = 9Hp$ Potencia nominal del motor

$V_{L-L} = 480v$ Voltaje nominal de la línea

$I_n = 11A$ Corriente nominal del motor

Se tiene que:

$$I_{rels} = I_{nn} \times 1.25$$

$$I_{rels} = 11 \times 1.25$$

$$I_{rels} = 13.75A$$

Se selecciona un relés electrónicos tripolares de protección térmica maraca Telemecanic de Schneider electric serie LRD, referencia LRD21, como se muestra en la grafica de selección del fabricante con la flecha.



Figura 37. Relé de sobrecarga

Los relés tripolares de protección térmica modelo d están diseñados para la protección de los circuitos y de los motores alternos contra las sobrecargas, los cortes de fases, los arranques y calados prolongados del motor.

Zona de reglaje del relé	Fusibles para asociar al relé elegido			Para asociación con contactor LC1	Referencia
	aM	gG	BS88		
A	A	A	A		
Clase 10 A (1) con conexión mediante tornillos de estribo o conectores					
0,10...0,16	0,25	2	–	D09...D38	LRD 01
0,16...0,25	0,5	2	–	D09...D38	LRD 02
0,25...0,40	1	2	–	D09...D38	LRD 03
0,40...0,63	1	2	–	D09...D38	LRD 04
0,63...1	2	4	–	D09...D38	LRD 05
1...1,7	2	4	6	D09...D38	LRD 06
1,6...2,5	4	6	10	D09...D38	LRD 07
2,5...4	6	10	16	D09...D38	LRD 08
4...6	8	16	16	D09...D38	LRD 10
5,5...8	12	20	20	D09...D38	LRD 12
7...10	12	20	20	D09...D38	LRD 14
9...13	16	25	25	D12...D38	LRD 16
→ 12...18	20	35	32	D18...D38	LRD 21
16...24	25	50	50	D25...D38	LRD 22

Figura 38. Guía de selección para relé de sobrecarga Telemecanic.

4.12. SELECCIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

Para definir el equipo más adecuado para resolver una aplicación de variación de velocidad para las aplicaciones corrientes, que representan la gran mayoría de los casos, los fabricantes incluyen tablas en sus catálogos que permiten seleccionar y determinar el variador más adecuado. Dichas tablas corresponden a condiciones ambientales y de funcionamiento normales en base a:

Tipo de carga, Tipo de motor, Condiciones de la red, Potencia del Motor, Rangos de funcionamiento, Par en el arranque, Condiciones ambientales, consideraciones de la aplicación y criterios económicos.

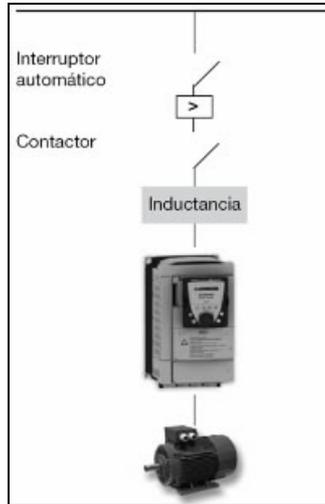


Figura 39. Circuito del Variador de Velocidad.

Por lo mencionado anteriormente se procederá a examinar los requisitos para la selección del variador, los cuales se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Características del sistema.

Tipo de motor:	Se cuenta con un motor de inducción rotor jaula de ardilla
Condiciones de la red:	La red de suministro de energía tiene un voltaje de 480v y una frecuencia 60Hz
Potencia del Motor:	El motor tiene una potencia de 10Hp
Rangos de funcionamiento:	Se necesita poder controlar la velocidad desde 0 a 100% de la velocidad nominal.
Par en el motor:	Se tendrá un par variable a medida que aumente o disminuya el consumo de los usuarios
Condiciones ambientales	60m sobre nivel del mar. Temperatura Max 50°C, Humedad relativa Max 100%. Ambiente tropical con polvo

Consideraciones de la aplicación	Bombas centrifugas
Criterios económicos.	La empresa invierte en tecnología de punta. Se cuenta con una bodega, donde se podrá utilizar su stock.

En Cerro Matoso siempre se ha mantenido la cultura de manejar una sola línea de fabricante en la utilización de variadores para baja tensión. En esta empresa se utilizan los variadores de velocidad para baja tensión Allen- Bradley, por lo cual, se buscó entre los drivers que ofrece la línea de Allen- Bradley.

Entre todas las opciones el variador más económico y viable para la aplicación que necesitamos es el [PowerFlex 40](#),



Figura 40. Variador Power Flex 40

Los variadores PowerFlex. PowerFlex® 40 drives están diseñados para cubrir un rango de frecuencia desde 0.4 hasta 11 Kw (0.5 hasta 15 Hp), 100 hasta 120 volts, 200 hasta 240 volts, 380 hasta 480 volts and 460 to 600 volts. La línea de Allen-Bradley PowerFlex 40 AC Drive es una de las mejores aplicaciones costo-eficiencia para soluciones de velocidad variable en torques variables para bombas y ventiladores. Este se comunica por medio del estándar RS485 de comunicaciones. Según las especificaciones antes mencionadas y las tablas de criterios de selección de los variadores

(figura344), las cuales son obtenidas en la página web www.rockwell.com, se selecciona siguiente variador de frecuencia:

480V AC, Three-Phase Drives (50/60 Hz, No Filter)						
Drive Ratings				IP20/NEMA Type Open ☼	IP20 Plate Drive ☼	IP20 Flange Mount * ☼
kW	Hp	Output Current	Frame Size	Cat. No.	Cat. No.	Cat. No.
		A				
0.4	0.5	1.4	B	22D-D1P4N104	22D-D1P4H204	22D-D1P4F104
0.75	1	2.3	B	22D-D2P3N104	22D-D2P3H204	22D-D2P3F104
1.5	2	4	B	22D-D4P0N104	22D-D4P0H204	22D-D4P0F104
2.2	3	6	B	22D-D6P0N104	22D-D6P0H204	22D-D6P0F104
4	5	10.5	B	22D-D010N104	22D-D010H204	22D-D010F104
→ 5.5	7.5	12	C	22D-D012N104	22D-D012H204	22D-D012F104
7.5	10	17	C	22D-D017N104	22D-D017H204	22D-D017F104
11	15	24	C	22D-D024N104	22D-D024H204	22D-D024F104

Figura 41. Guia de seleccion de Variador Allen Bradley.

4.13. RECOMENDACIONES DE LA INSTALACION

4.13.1. Cableado.

- En los cables de control, utilizar cable trenzado y blindado para los circuitos de consigna.
- Debe haber una separación física entre los circuitos de potencia y los circuitos de señales de bajo nivel.
- La tierra debe ser de buena calidad y con conexiones de baja impedancia.
- Cables con la menor longitud posible.
- El variador debe estar lo más cerca posible del motor.
- Cuidar que los cables de potencia estén lejos de cables de antenas de televisión, radio, televisión por cable o de redes informáticas.

4.13.2. Gabinete.

Metálico o al menos en una bandeja metálica conectada a la barra de tierra. En los manuales de uso de los variadores se hacen las recomendaciones en cuanto al tamaño.

4.13.3. Ventilación.

Debe estar de acuerdo al calor disipado por el equipo a potencia nominal. Se proveen, como opcionales, ventiladores adicionales y kits de montaje de ventilación que garantizan una protección IP 4 sin perder la posibilidad de una buena disipación.

4.13.4. Puesta a tierra.

La tierra debe ser de buena calidad y con conexiones de baja impedancia. Se deberá realizar la conexión a tierra de todas las masas de la instalación, así como las carcasas de los motores eléctricos. El sistema de puesta a tierra deberá tener una resistencia de un valor tal que asegure una tensión de contacto menor o igual a 24V en forma permanente.

5. CIRCUITOS DE CONTROL

El tablero de control se encuentra ubicado de manera centralizada al proceso para lograr un acortamiento en la distancia del cableado de sensores y de señales de control. En el tablero de potencia se encuentran los elementos de protección como es el caso de contactores, interruptores termomagnéticos para los diferentes circuitos eléctricos, como es el caso de la fuente de voltaje alterno para la alimentación del PLC, de la fuente de voltaje alterno para las entradas digitales, la fuente de voltaje continuo para la alimentación de sensores y relés.

5.1. DIAGRAMA DE BLOQUES

En la Figura 42 43, encontramos el diagrama de bloques que representa el sistema que se está trabajando. En este, se puede notar que los tableros de potencia y control están interconectados entre sí por señales de control. Con base en el siguiente diagrama de bloques y todos los requerimientos mencionados anteriormente en la descripción del proceso se estudiarán y clasificarán las señales de control e instrumentación necesarias para que el sistema cumpla con todas las condiciones ya establecidas.

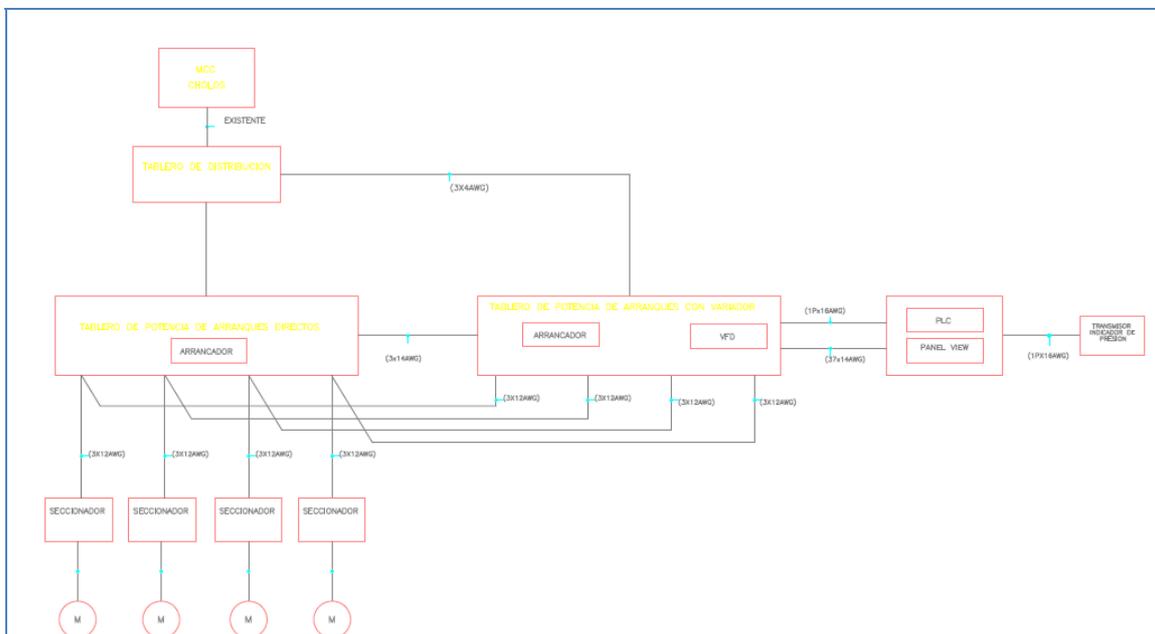


Figura 42. Diagrama de Bloques

Los tableros de potencia y control están conectados entre sí por medio de cables de control para asegurar el comando y control de todos los elementos necesarios para hacer de este sistema autónomo. Los tableros están conectados entre sí para cumplir lo siguiente:

Se conecta un cable de control entre el tablero del PLC y el tablero de potencia. Con estas señales se asegura el comando de encendido y apagado de los motores, además, a este llegan las señales de indicación de encendido o apagado de los que motores.



Figura 43. Señales de control del PLC al tablero de Potencia

Se conecta un cable de control entre el tablero del PLC y el tablero de potencia. Con esta señal se asegura el control de variación de velocidad en el VFD. Esta señal está condicionada por la señales de instrumentación de campo, dependiendo de la señal de campo el PLC ordena o no la disminución o aumento de la velocidad.

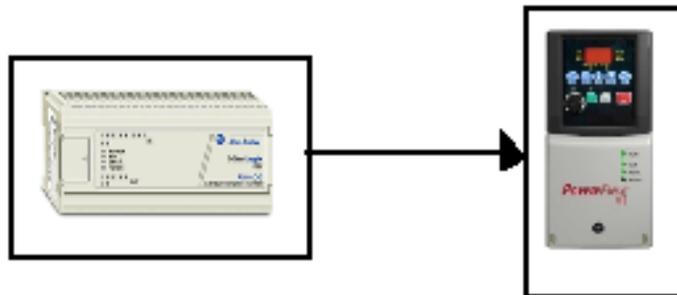


Figura 44. Señales de control del PLC al variador.

Se conecta un cable de instrumentación entre el tablero del PLC y la señal de campo que es suministrada por un transmisor de presión. Esta señal es la que determina cuantas bombas deben estar encendidas y gracias a esta se determina la velocidad que se le debe exigir al VFD.

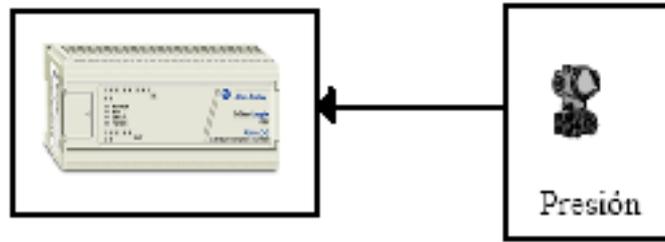


Figura 45. Señales del transmisor de presión al PLC.

5.2. PLC (CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE)

En la presente parte del proyecto se expondrá una metodología que ayuda, gracias a los pasos propuestos, a determinar la selección del PLC más adecuado a cualquier proyecto. Debido a que hay un costo asociado a la adquisición de nueva tecnología en equipos y programas; y aún, teniendo la tecnología más moderna, la automatización puede ser ineficiente y no operativa, si no se realizó previamente un análisis de las necesidades, de las diferentes ofertas tecnológicas existentes en el mercado. Se seguirá el siguiente procedimiento para hacer la selección del PLC más adecuado.

Los pasos por seguir para la selección del PLC más adecuado para el sistema que estamos tratando son: Hacer una descripción del sistema, diagrama de flujo, descripción de los equipos del sistema, requerimientos del cliente.

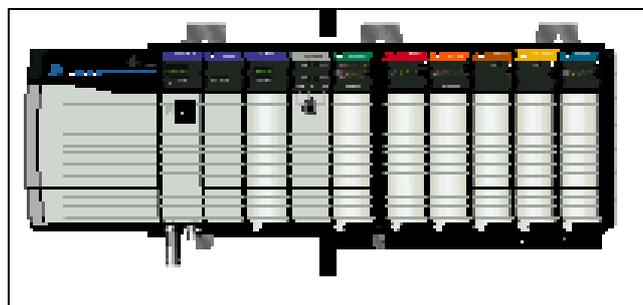


Figura 46. PLC Allen Bradley.

Para llevar a cabo la selección del autómatas se deben de realizar dos evaluaciones, una para seleccionar el tipo de autómatas y la otra para seleccionar la marca, esto debido a las diferentes opciones que brinda el mercado actualmente.

A continuación se realiza un estudio de las variables implicadas en el proceso y de la futura ampliación que se pueda dar, además del tipo de sensores que se van a instalar y el voltaje que se maneja en las señales de control y el tipo de señales. .

5.2.1. Descripción del Sistema

Para llevar a cabo la descripción del sistema o proceso se requiere recabar la siguiente información: procedimiento que se debe seguir en la operación (arranque, paro), dispositivos que intervienen en el proceso (sensores, transductores, motores, variadores, etc.), variables a medir, variables a controlar, variables a monitorear, rangos de operación, función de los dispositivos, entradas y salidas.

Con lo mostrado en la Figura 47 48, donde se muestra un diagrama de proceso se pueden determinar los elementos que están involucrados en el sistema.

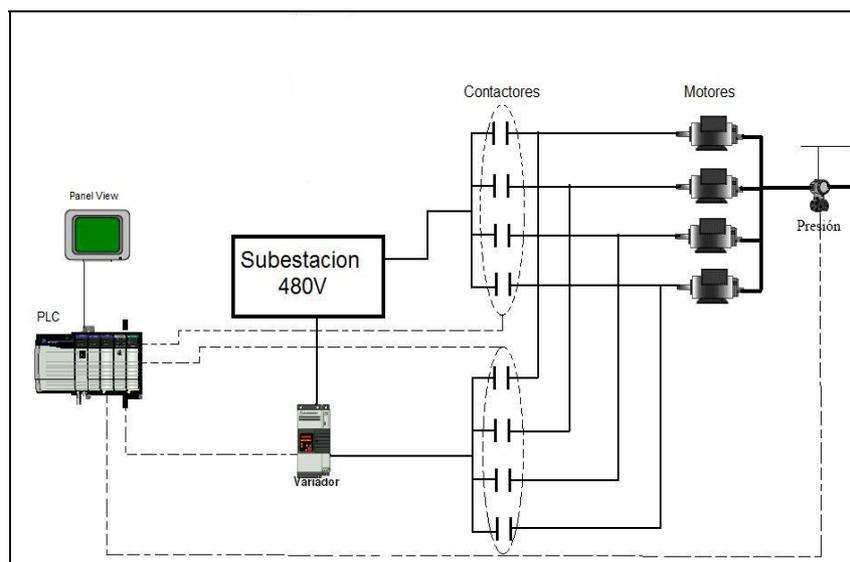


Figura 47. Diagrama de señales del proceso.

Con base a la Figura 47 48, se puede obtener una visión más general del sistema eléctrico y de control, y que elementos están constituidos en el mismo. En este punto es muy importante definir todos los elementos electrónicos que están conectados al PLC.

De la grafica 48, vamos a obtener todos los elementos que serán necesarios al momento de la instalación. En este sistema se cuenta con una serie de motores en paralelo, arrancadores de motores (Contactor, Interruptor, Relés de Sobrecarga), variador de velocidad, PLC, transmisor de presión, Panel View, cables de potencia y control etc.

Tabla 5. Resumen de elementos eléctricos del sistema.

ITEM	DESCRIPCION
ELECTRICOS	
1	Breakers 3φ
2	Variador de velocidad
3	Contactores 3φ
4	Transformador de control
5	Relés de Control
6	Gabinetes
7	Cable de Potencia
8	Cable de Control
9	Cable de Comunicaciones
10	Panel View
11	Transmisor indicador de presión

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. 5**, solo se muestre un resumen de los elementos más importantes a considerar más adelante en la

sección 9, se mostrara la tabla, donde se muestran la totalidad de elementos y accesorios necesarios para el montaje del nuevo sistema automatizado.

5.2.2. Diagrama de Flujo

Un diagrama de flujo, representa los pasos en un proceso. Dicho diagrama es útil para determinar cómo funciona realmente el proceso. El diagrama se utiliza en gran parte de las fases del proceso de mejora continua, sobretodo en definición de proyectos, diagnóstico, diseño e implantación de soluciones, mantenimiento de las mejoras, traslado de materiales, pasos para ventas y procedimientos del proceso.

Con el diagrama mostrado en la Figura 48 49, se puede tener un mayor conocimiento en el funciona el proceso y da una mayor idea al momento de la programación del PLC.

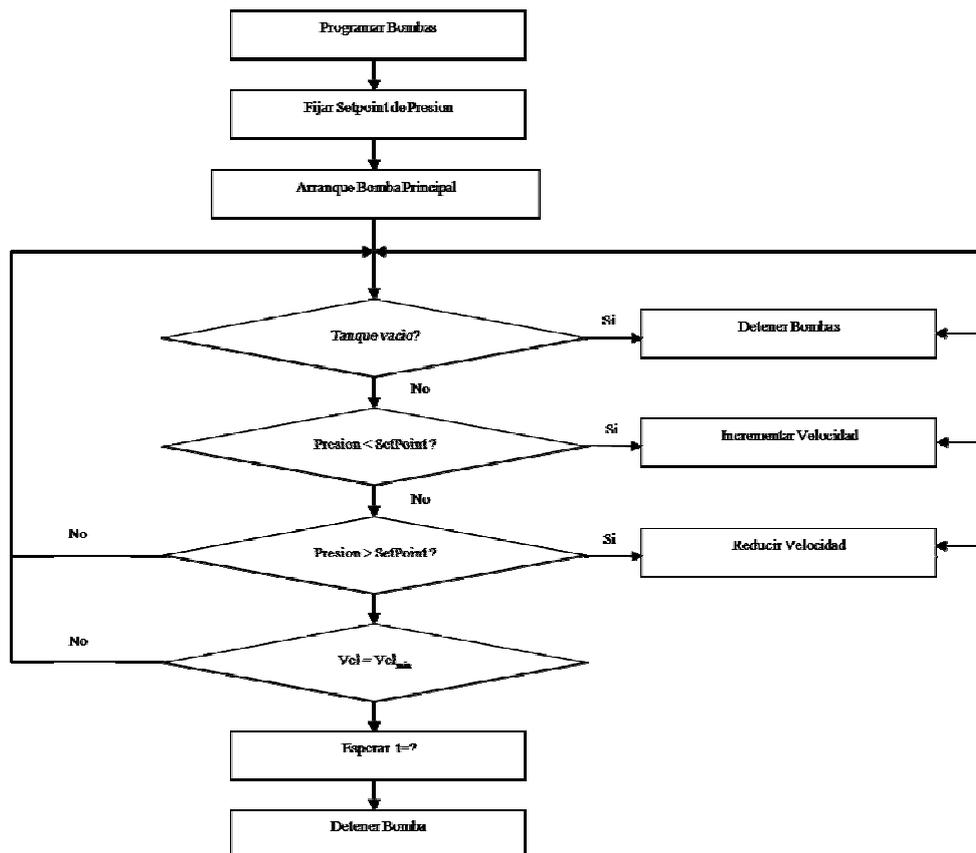


Figura 48. Diagrama de flujo del Proceso

En el diagrama de flujo mostrado en la Figura 48 49, se puede observar claramente el funcionamiento operativo para el ciclo de las bombas en el sistema de bombeo. Este diagrama será de más utilidad para los programadores del PLC al momento de hacer dicha programación. Para este caso en específico, el diagrama nos ayuda a reconocer la interconexión entre el PLC con el variador de velocidad y con las bombas asociadas.

5.2.3. Descripción de los equipos del sistema.

Aquí se agrupan todos los dispositivos que intervienen en el proceso, se describe bien su función e identifica las entradas y salidas del sistema. Esto ayuda a conocer con mayor detalle el sistema y las funciones para los cuales fueron diseñados los dispositivos. Además sirve para conocer más a detalle el proceso y entenderlo mejor; es decir, tener una amplia visión para la siguiente etapa.

5.2.4. Señales de entrada al PLC

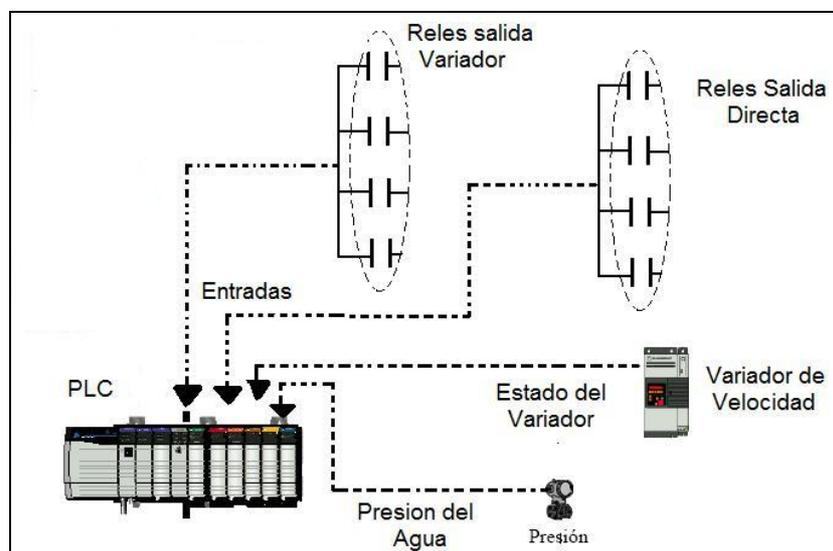


Figura 49. Señales de entrada al PLC

La Figura 49. 50., muestra todos los elementos asociados con el PLC. En esta se puede determinar el número de entradas que se necesitan, así como el tipo de

entrada que es requerida (Análoga / Digital). Es muy importante contar con los manuales de los elementos involucrados, para así poder determinar que señal están suministrando.

Haciendo una revisión de los manuales y teniendo en cuenta las peticiones del cliente se tiene que:

Se tienen un sistema, el cual tiene 4 motores en paralelo, de los cuales tres (3) trabajaran a velocidad constante (100%) y uno (1) trabajara a velocidad variable por medio del variador. Pero, con los requerimientos del cliente donde quiere que el variador pueda controlar los cuatro (4) motores en diferentes tiempos, se diseño un sistema de arranque para los motores que en su momento trabajaran a velocidad constante y otro sistema de arranque para poder hacer la permutación del motor que será controlado por el variador. Por lo cual, se tiene cuatro (4) arrancadores para el sistema de arranques directos y cuatro (4) arrancadores que serán controlados por el variador, para poder hacer la permutación en momentos de falla o por un programa de tiempos para evitar el desgaste de un solo motor. Con estos datos, se tiene ocho (8) entradas para indicación de que los motores están en el estado de encendido o apagado. Estas señales serán suministradas desde un contacto auxiliar de la bobina de cada motor por lo cual estas se clasifican como entradas digitales, ya que, esta será una señal de 110v o 24v. Esta señal será tomada del circuito de control que utilizara un transformador de control de 480/110v para el manejo de las señales de control y dispositivos de bajo voltaje. Si en cualquier momento se tiene equipos o señales a 24v, se empleara fuentes de 24v para el suministro de estas.

El sensor de presión utilizado brinda una salida en voltaje y corriente (0 a 10 V); (4 a 20 mA) respectivamente, por esta razón, se necesitara una entrada análoga.

En cuanto al variador de velocidad, solo se tomaran dos (2) señales, las cuales son; la señal de que el variador esta Ready para arrancar, debido a que no es conveniente para este arrancar sin carga, por lo tanto se harán una serie de interlocks para estar seguros de que el motor está conectado al variador. La otra señal que se va a tomara es la señal de Running, para indicar que el variador está

en funcionamiento. Con esto se necesitarían dos (2) señales mas las cuales según el manual del variador estas son salidas digitales.

5.2.5. Señales de salida del PLC

A continuación se seleccionaran las salidas para controlar las variables del sistema. Como se puede observar en la grafica 435, el PLC hará control sobre el variador de velocidad y sobre el arranque de los motores del sistema.

La señal para el encendido de los motores, es una señal digital la cual suministrara el PLC para encender la bobina de cada motor que este comandando, por lo tanto, se tendrían ocho (8) salidas digitales para cumplir los requerimientos de los contactores de los sistemas de arranque para los motores. Es muy importante que estas salidas sean de relé, para así, poder obtener la potencia necesaria para la activación de las bobina.

La otra señal que se necesita es la que va dirigida al variador. El propósito de esta señal es controlar la velocidad requerida en el sistema en el sistema, esta velocidad será suministrada dependiendo de la señal que este enviando el transmisor de presión a PLC.

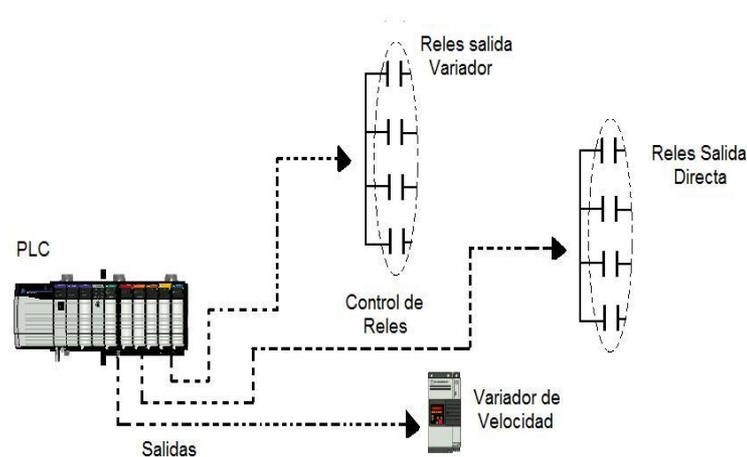


Figura 50. Señales de salida del PLC

5.3. Selección del PLC.

Para la selección se toman todos los datos adquiridos para entradas / salidas requeridas en el sistema, las cuales se obtuvieron en sesiones anteriores y son mostradas en la tabla 5:

Tabla 6. Numero de entradas y salidas del PLC.

Input/output	Cantidad
Entradas Digitales	10
Entradas Analógicas	1
Salidas Digitales	8
Salidas Analógicas	1

Entre los criterios de selección del PLC se encuentra el factor económico en el costo del equipo y el precio de las licencias, el software de comunicación para la forma de programación y un factor muy importante y recomendable, es mantener una sola línea de marcas dentro de una empresa para no crear conflictos entre los diferentes productos.

En Cerro Matoso siempre se ha mantenido la cultura de manejar una sola línea de fabricante en la utilización de los PLC. En esta empresa se utilizan los autómatas Allen- Bradley, por lo cual, seleccionaremos un PLC de esta marca para así poder cumplir con los requerimientos del cliente.

Analizando el sistema, podemos inferir que este es un sistema pequeño con mínimos requerimientos en cuanto a entradas / salidas y al tamaño de la memoria interna,

El PLC seleccionado y que será puesto en funcionamiento es el MicroLogix 1000 de Allen-Bradley. Este es un PLC compacto, en donde la fuente de poder, la CPU y las entradas y salidas están todos integrados en una sola caja.



Figura 51. MicroLogix 1000 de Allen-Bradley

La serie MicroLogix 1000 se escoge de acuerdo al el siguiente diagrama, en donde se especifica la referencia de a cuerdo a numero de entrada/salidas, características de las mismas y voltajes de alimentación etc.

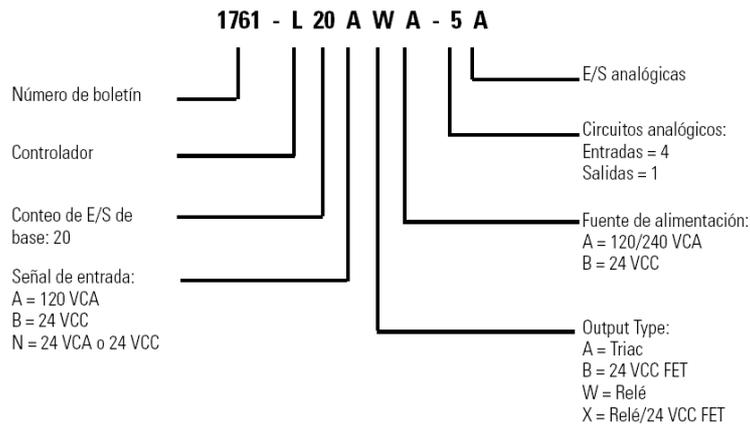


Figura 52. Serie de Micrologix 1000.

El PLC seleccionado es el Micrologix 1000 ref.: 1761-L20AWA – 5A, y se ha tomado de la figura 54, obtenida en la pagina del fabricante

MicroLogix 1000 Controllers

Cat. No.	I/O	Digital Inputs	Analog Inputs	Digital Outputs	Analog Outputs	Real Input Power	Apparent Input Power	Transformer Load
1761-L10BWA	10	6 inputs 24V DC sink/source	0	4 contact outputs	0	13W @ 120V AC 14W @ 240V AC	24 VA @ 120V AC 32 VA @ 240V AC	33 VA @ 120V AC 35 VA @ 240V AC
1761-L10BWB	10	6 inputs 24V DC sink/source	0	4 contact outputs	0	5W @ 24V DC	—	—
1761-L10BWB	10	6 inputs 24V DC sink/source	0	2 contact outputs 2 source 24V DC outputs	0	5W @ 24V DC	—	—
1761-L16AWA	16	10 inputs 120V AC	0	6 contact outputs	0	7W @ 120V AC 8W @ 240V AC	15 VA @ 120V AC 21 VA @ 240V AC	18 VA @ 120V AC 20 VA @ 240V AC
1761-L32AWA	32	20 inputs 120V AC	0	12 contact outputs	0	9.1W @ 120V AC 10.6W @ 240V AC	19 VA @ 120V AC 25 VA @ 240V AC	23 VA @ 120V AC 27 VA @ 240V AC
1761-L16BWA	16	10 inputs 24V DC sink/source	0	6 contact outputs	0	14W @ 120V AC 15W @ 240V AC	26 VA @ 120V AC 33 VA @ 240V AC	35 VA @ 120V AC 38 VA @ 240V AC
1761-L16NWA	16	10 inputs 24V DC sink/source or 24V AC	0	6 contact outputs	0	14W @ 120V AC 15W @ 240V AC	26 VA @ 120V AC 33 VA @ 240V AC	35 VA @ 120V AC 38 VA @ 240V AC
1761-L32BWA	32	20 inputs 24V DC sink/source	0	12 contact outputs	0	15W @ 120V AC 16W @ 240V AC	29 VA @ 120V AC 36 VA @ 240V AC	38 VA @ 120V AC 40 VA @ 240V AC
1761-L32AAA	32	20 inputs 120V AC	0	10 triAC outputs, 120/240V AC 2 contact outputs	0	7W @ 120V AC 9W @ 240V AC	16 VA @ 120V AC 22 VA @ 240V AC	18 VA @ 120V AC 23 VA @ 240V AC
1761-L16BWB	16	10 inputs 24V DC sink/source	0	6 contact outputs	0	5W @ 24V DC	—	—
1761-L32BWB	32	20 inputs 24V DC sink/source	0	12 contact outputs	0	7W @ 24V DC	—	—
1761-L16BBB	16	10 inputs 24V DC sink/source	0	4 source 24V DC outputs 2 contact outputs	0	5W @ 24V DC	—	—
1761-L32BBB	32	20 inputs 24V DC sink/source	0	10 source 24V DC outputs 2 contact outputs	0	7W @ 24V DC	—	—
1761-L20AWA-5A	25	12 inputs 120V AC	2 voltage (±10V) 2 current (0...20 mA)	8 contact outputs	1 voltage/current (0...10V, 4...20 mA)	12W @ 120V AC 13W @ 240V AC	20 VA @ 120V AC 27 VA @ 240V AC	30 VA @ 120V AC 33 VA @ 240V AC
1761-L20BWA-5A	25	12 inputs 24V DC sink/source	2 voltage (±10V) 2 current (0...20 mA)	8 contact outputs	1 voltage/current (0...10V, 4...20 mA)	18W @ 120V AC 19W @ 240V AC	30 VA @ 120V AC 38 VA @ 240V AC	45 VA @ 120V AC 46 VA @ 240V AC
1761-L20BWB-5A	25	12 inputs 24V DC sink/source	2 voltage (±10V) 2 current (0...20 mA)	8 contact outputs	1 voltage/current (0...10V, 4...20 mA)	7W @ 24V DC	—	—

Figura 53. Guía de selección para MicroLogix 1000.

El PLC utiliza RS232 para la comunicación y programación por medio del cable 1761-CBL-PM02.

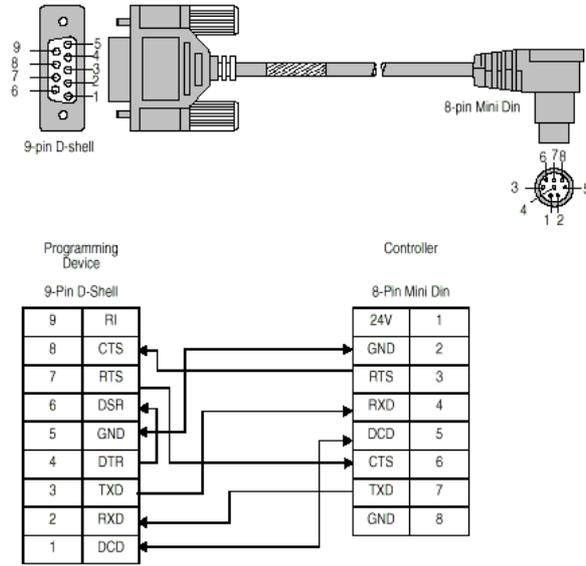


Figura 54. Cable de comunicaciones del PLC.

5.4. MAPEO DE SEÑALES - PLC

Mapeo Señales de Control - Salidas del PLC		
PLC	TAG de la Señal	Equipo
Salidas Digitales.		
0:2 0/0	PP-001 – VFD (Control por Variador)	PP –001
0:2 0/1	PP-002 – VFD (Control por Variador)	PP –002
0:2 0/2	PP-003 – VFD (Control por Variador)	PP –003
0:2 0/3	PP-004 – VFD (Control por Variador)	PP –004
0:2 0/4	PP-005 – VFD (Control Directo)	PP –005
0:2 0/5	PP-006 – VFD (Control Directo)	PP –006
0:2 0/6	PP-007 – VFD (Control Directo)	PP –007
0:2 0/7	PP-008 – VFD (Control Directo)	PP –008
Salidas Análogas		
0:3 0/0	VFD– SPEED(Velocidad del variador)	

Mapeo Señales de Control - Entradas del PLC		
PLC	TAG de la Señal	Equipo
Entradas Digitales.		
I:1 0/0	PP-001 – VFD (Control por Variador)	PP –001
I:1 0/1	PP-002 – VFD (Control por Variador)	PP –002
I:1 0/2	PP-003 – VFD (Control por Variador)	PP –003
I:1 0/3	PP-004 – VFD (Control por Variador)	PP –004
I:1 0/4	PP-005 – CONFIG (Control Directo)	PP –005
I:1 0/5	PP-006 – CONFIG (Control Directo)	PP –006
I:1 0/6	PP-007 – CONFIG (Control Directo)	PP –007
I:1 0/7	PP-008 – CONFIG (Control Directo)	PP –008
I:1 0/8	VFD-READY	VFD

I:1 0/9	VFD-RUNNING	VFD
I:1 0/10		
I:1 0/11		
Entradas Análogas		
I:3 0	PIT (Señal Análoga)	PIT-001
I:3 1		

5.5. RELES DE AISLAMIENTO.

Para el manejo de las señales de control se utiliza relés para aislar las referencias que tienen las señales de entrada como las de salida, de esta manera se previene el daño de los módulos del PLC.

En algunos PLC las salidas no tiene la suficiente potencia para activar ciertos dispositivos, por lo cual se utilizar un ayudante intermedion como los relés, los cuales tienen contactos que pueden manejar una cantidad de corriente considerable.



Figura 55. Configuración de salidas del PLC por relés.

Por lo cual se seleccionan 8 relés para la alimentación de la bobina de los motores. Estos relés serán alimentados a 110v son de marca TELEMECHANIC y Ref. RXN41G11F7

5.6. TRANSFORMADOR DE CONTROL.

La capacidad de un transformador depende de las cargas que estén conectadas a este. Se suman las cargas las cuales serán alimentadas por el circuito de control entre las cuales tenemos:

Ocho (8) bobinas de los arrancadores de los motores, las cuales manejan una capacidad de 20VA, lo cual da un total de 160VA.

Un (1) Transmisor de presión el cual tiene un consumo de 1W.

Un (PLC) el cual tendrá señales de confirmación, señales de accionamiento de los relés y comando del variador, a este se le reserva una potencia de 100VA.

La panel View tiene un consumo de 60VA máximo.

El variador de velocidad tiene su propio circuito interno que saca la potencia para su circuito de control del circuito de potencia principal.

Se tienen otras cargas mínimas como selectores, luz piloto etc.

Se selecciona un Transformador de control de 500 VA, 480/120VAC marca Allen Bradley Ref. 1497-N19P



Figura 56. Transformador de Control.

6. TRANSMISOR DE PRESION

En el sistema se determino que el sistema manejaría un presión constante para cualquier requerimiento del cliente, por lo cual, la variable de campo que se va a sensor (Presión) a través de dispositivos de campo, debe ser capaz de interpretar el cambio de presión en la tubería.

Teniendo en cuenta los requerimientos del cliente donde quieren mantener una presión constante de 80 Psi durante toda la trayectoria hasta el último usuario y luego de consultar manuales sobre sensores y sus características, se determinó que para el monitoreo de la presión, el transmisor de presión ,mas adecuado es Rosemount serie 2088 el cual se adapta perfectamente a los requerimientos del diseño.



Figura 57. Transmisor de presión rosemount

7. SISTEMA DE MONITOREO.

Para mayor facilidad del operador de campo, se obtuvo un programa que sirve para monitorear eficientemente el comportamiento de las variables de campo, por medio de un panel de operador o Panel View.

Se selecciono un Panel view marca Allen Bradley Plus 1000 Ref: 2711P-B7C4A1

El Panel View o panel de operador de teclado posee opciones para graficar, puerto de comunicación Ethernet y RS-232. Este dispositivo utiliza un display de tipo LCD monocromático, maneja ocho teclas de funciones para entrada de datos, reloj de tiempo real y un teclado extendido para el ingreso de datos numéricos,



Figura 58. Panelview allen bradley.

El panel view es capaz de leer direcciones directamente del programa que se esté ejecutando en el controlador. Este dispositivo fue utilizado para visualizar algunas funciones del programa, como arranque, paro, velocidad de las bombas con variador, presión en la línea principal de suministro de agua.

PanelView Plus and PanelView Plus CE 1000 Color

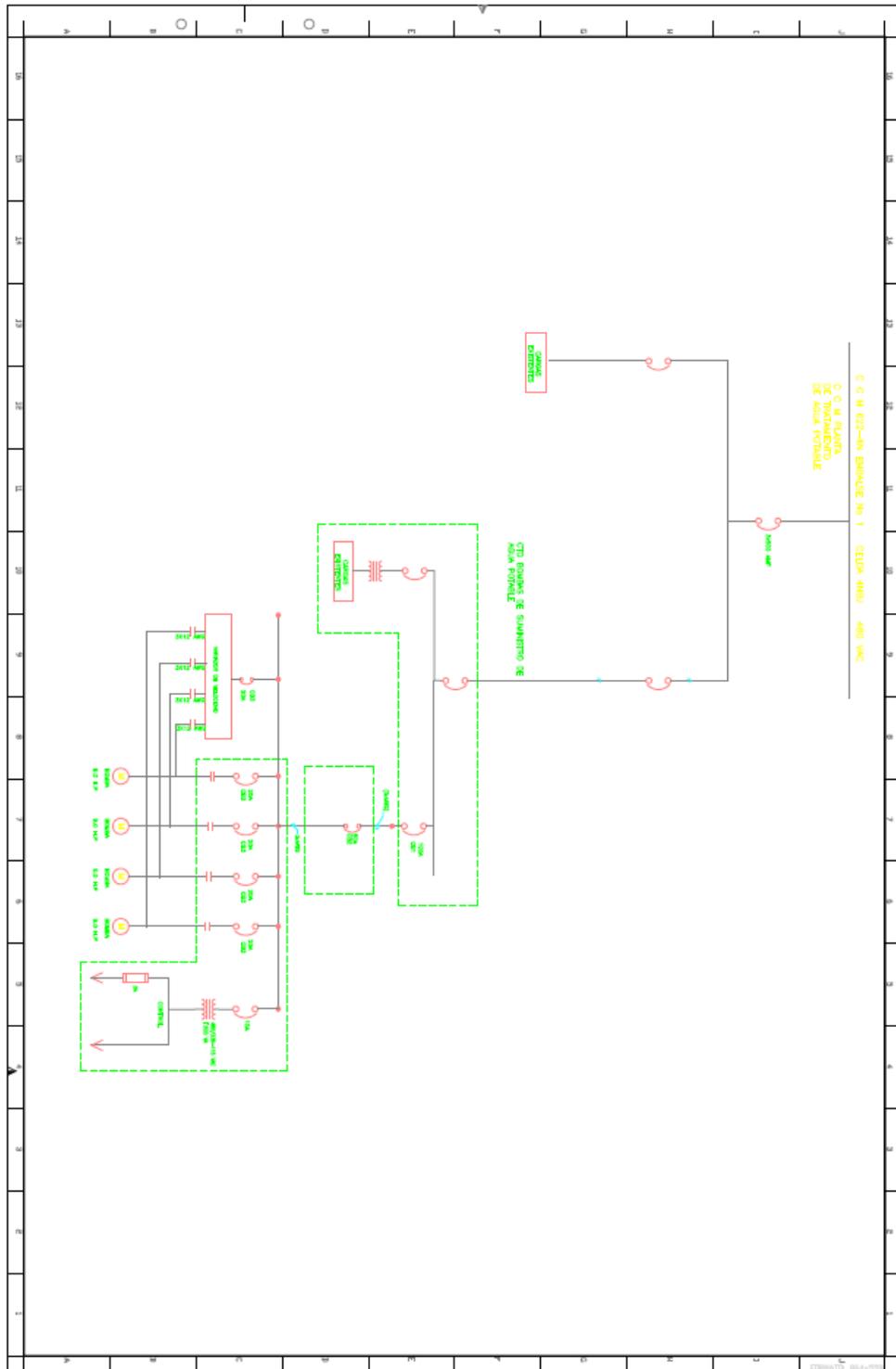
Description	PanelView Plus Cat. No.			PanelView Plus CE Cat. No.			
	Keypad	Touch	Key/Touch	Keypad	Touch	Key/Touch	
Standard Communication (Ethernet and RS-232), DC Input, 64 MB Flash/RAM	2711P-K10C4D1	2711P-T10C4D1	2711P-B10C4D1	-	-	-	
Standard Communication (Ethernet and RS-232), DC Input, 128 MB Flash/RAM	2711P-K10C4D2	2711P-T10C4D2	2711P-B10C4D2	2711P-K10C4D6	2711P-T10C4D6	2711P-B10C4D6	
Standard Communication (Ethernet and RS-232), DC Input, 256 MB Flash/RAM	-	-	-	2711P-K10C4D7	2711P-T10C4D7	2711P-B10C4D7	
Standard Communication (Ethernet and RS-232), AC Input, 64 MB Flash/RAM	2711P-K10C4A1	2711P-T10C4A1	2711P-B10C4A1	-	-	-	
Communication Port	Pre-Assembled PanelView Plus and PanelView Plus CE Terminals						Communication Module
	400	600	700	1000	1250	1500	
RS-232 only (base)	Yes	Yes	N/A	N/A	N/A	N/A	
Ethernet & RS-232 (base)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
RS-232 Isolated	-	-	N/A	N/A	N/A	N/A	2711P-RN22C (400 and 600)
DH-485	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	2711P-RN3 (400 and 600) 2711P-RN6 (700-1500)
DH+	Yes T	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	2711P-RN8 (400 and 600) 2711P-RN6 (700-1500)
Remote I/O5	Yes T	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	2711P-RN1 (400 and 600) 2711P-RN6 (700-1500)
ControlNet	‡	‡	Yes	Yes	Yes	Yes	2711P-RN15C (400 and 600) 2711P-RN15S (700-1500)
DeviceNet	‡	‡	‡	‡	‡	‡	2711P-RN10C (400 and 600) 2711P-RN10H (700-1500)

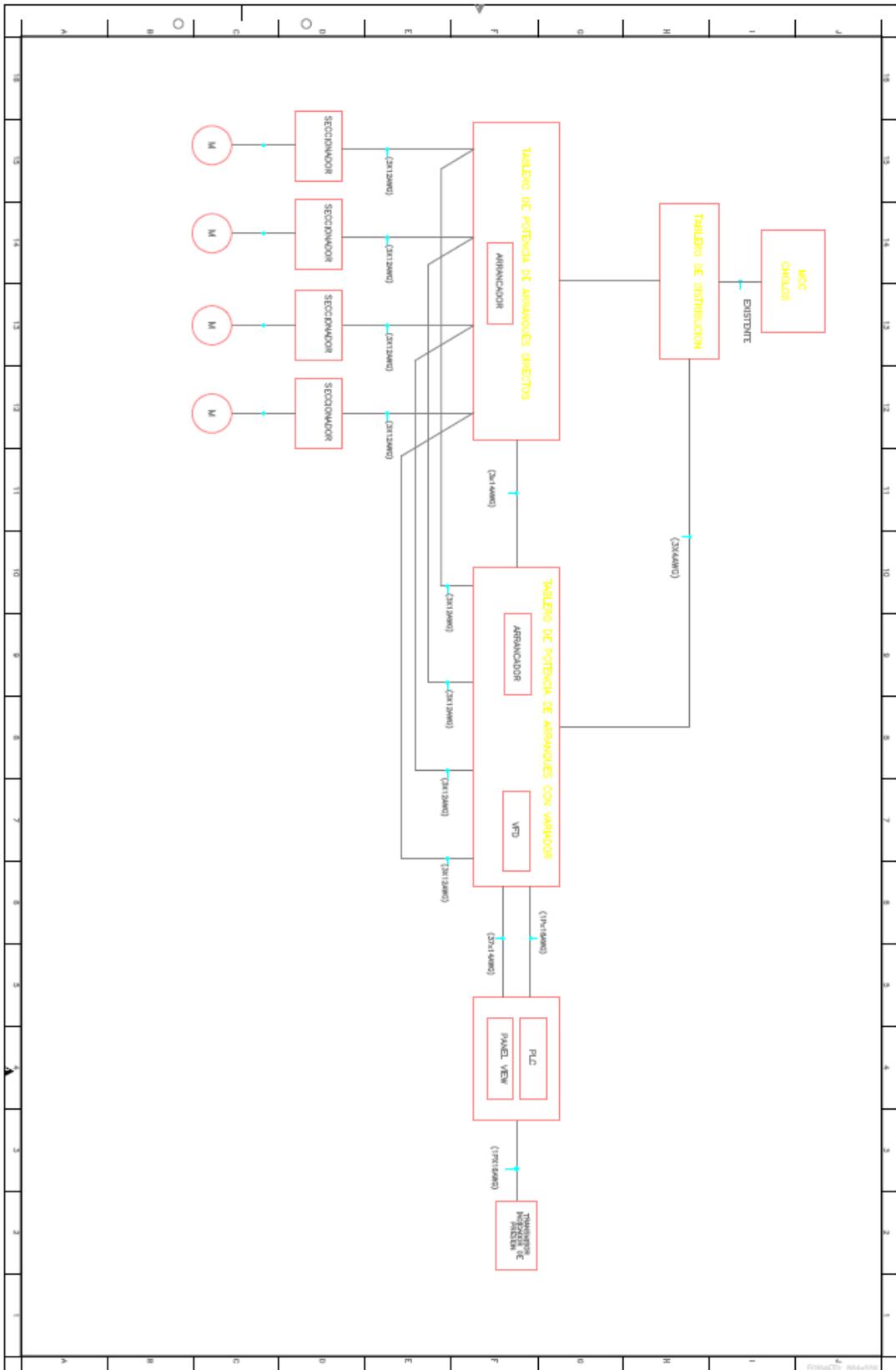
Figura 59. Guia de seleccion de panelview.

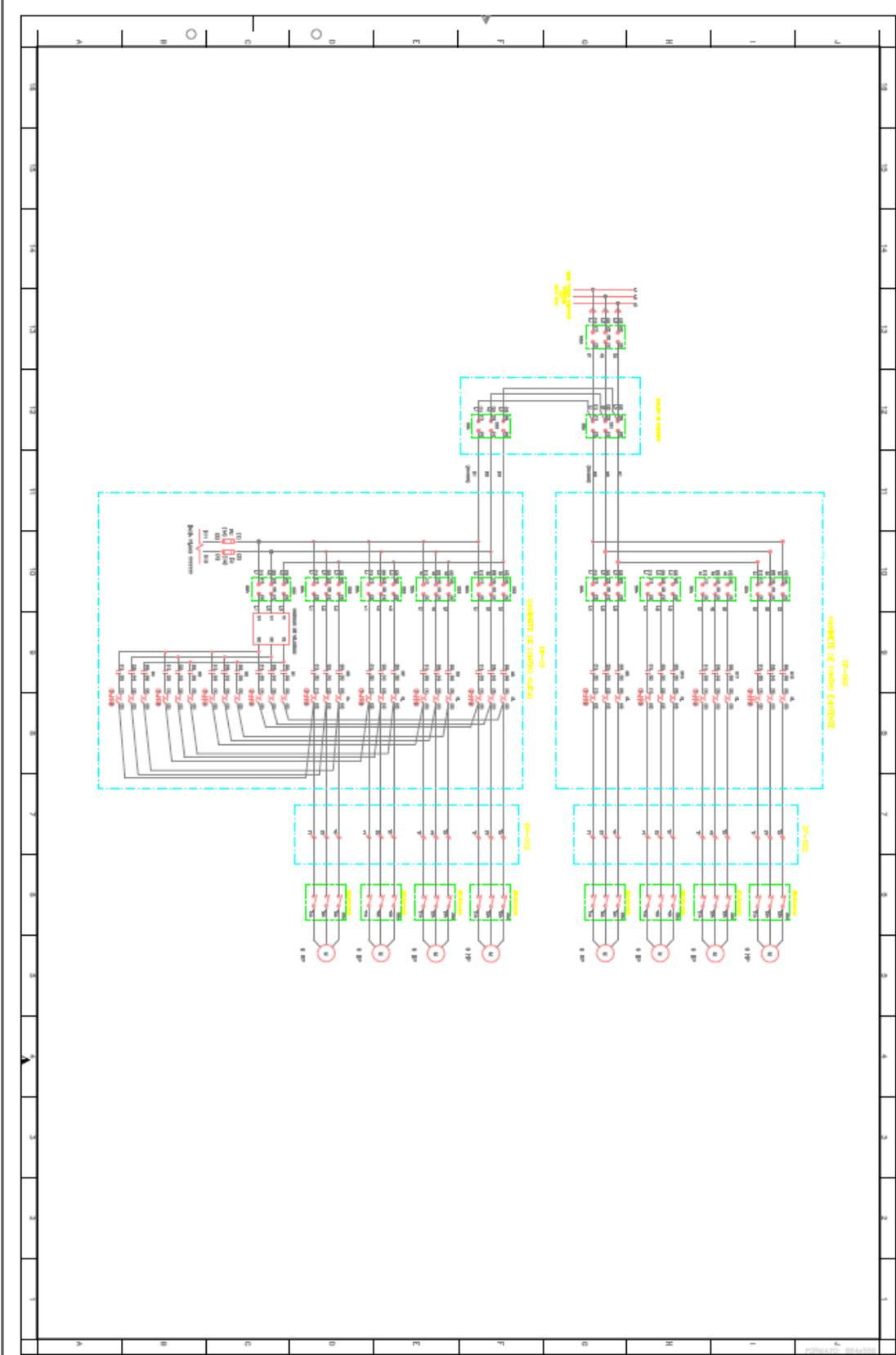
8. CONCLUSIONES

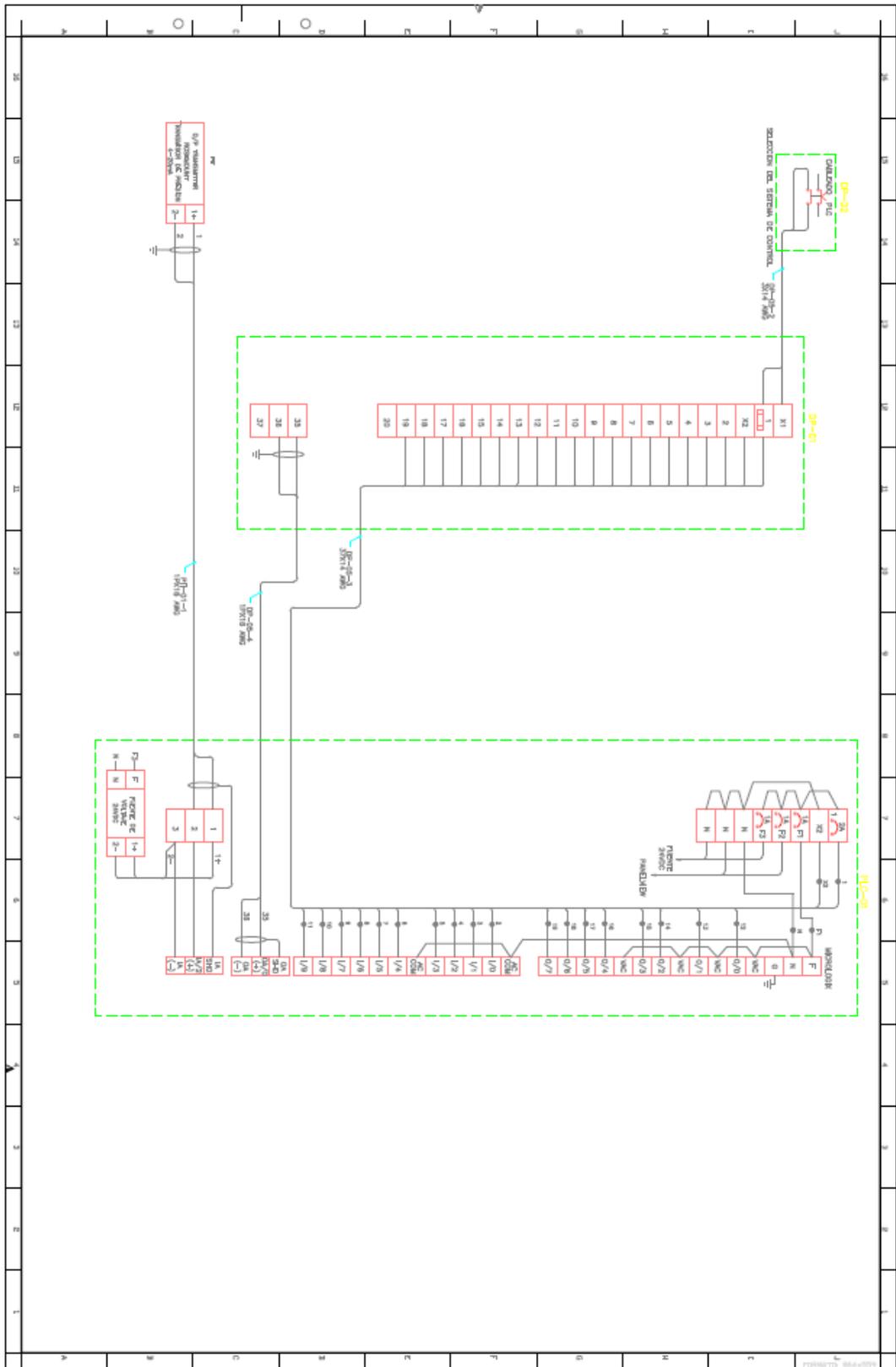
- El nuevo sistema de bombeo diseñado cumple con todas las especificaciones de diseño, es decir, controla de forma homogénea el encendido que se traduce en tiempo de operación de las bombas, se realiza un arranque suave de motores y se cumple con los parámetros de operación de presión de las líneas de tuberías de la ciudadela.
- En muchas ocasiones es preciso trabajar durante mucho tiempo en condiciones de caudal inferiores al nominal. En esta situación se realizan ahorros energéticos considerables, implantando sistemas de regulación de caudal más apropiados. El caudal demandado es el que determina el consumo de energía en una estación de bombeo. Por este motivo, el empleo de convertidores de frecuencia contribuye a reducir el consumo de energía eléctrica para cada situación de funcionamiento de la red.
- Se realizó el cálculo y selección de todos los elementos eléctricos, siguiendo todos los criterios establecidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050) , de esta manera que se puede afirmar, que la instalación eléctrica diseñada es segura.

9. PLANOS









10.LISTADO DE MATERIALES.

ITEM	DESCRIPCION	MARCA	UNIDAD	CANTIDAD	REFERENCIA
ELECTRICOS					
1	Breaker 3F, 20 A	GENERAL ELECTRIC	ea	5	serie TED ref.: TED134020WL.
2	Breaker 3F, 80 A	GENERAL ELECTRIC	ea	1	serie TED ref.: TED134080WL
3	Breaker 3F, 100 A	GENERAL ELECTRIC	ea	1	serie TED ref.: TED1340100WL
4	Variador de velocidad de 10 HP	ALLEN BRADLEY	ea	1	Ref. PowerFlex 700
5	Contactores de 10 HP	GENERAL ELECTRIC	ea	8	Ref. CL02A310TJ
6	Relés 120 VAC, con base 4NO y 4NC	TELEMECHANIC	ea	8	Ref. RXN41G11F7
7	Base para relés 120 VCA	TELEMECHANIC	ea	8	Ref. RX27G
8	Transformador de control de 500 VA, 480/120VAC	ALLEN BRADLEY	ea	1	Ref. 1497-N19P
9	Selector dos posiciones, 1NA,1NC	ALLEN BRADLEY	ea	1	Ref. 800H-HR2A
10	Gabinete totalizador	SURELIN	ea	1	Ref. Según plano
11	Gabinete Nema 4X	SURELIN	ea	1	Ref. Según plano
CABLES					
1	Cable 3X4 AWG	OKONITE	m		
2	Cable 3X6 AWG	OKONITE	m		
3	Cable 3X12 AWG	OKONITE	m		
4	Cable 37X14 AWG	OKONITE	m		
5	Cable 1PX16 AWG	OKONITE	m		
INSTRUMENTACION					
1	Transmisor indicador de flujo	ROSEMOUNT	ea	1	Rosemount serie 2088
CONTROL					
1	Fuente 24 VCD, 5 A	ALLEN BRADLEY	ea	1	
2	PLC 12 IN DIG, 8 OUT DIG, 2 IN ANA, 1 OUT ANA	ALLEN BRADLEY	ea	1	Ref. Micrologix 1000 1761-L20AWA-5A
3	Panel View	ALLEN BRADLEY	ea	1	Plus 1000 Ref: 2711P-B7C4A1