

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA ELECTRONICA



**SISTEMA DE FUERZA Y CONTROL AUTOMATICO  
PARA EL MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL  
SISTEMA DE AGUA POTABLE EL TREBOL**

**TESIS**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

PRESENTADO POR :

**IVAN ARTURO CORDOVA NOVOA**

Promoción 1997-I

LIMA – PERU

1999

**SISTEMA DE FUERZA Y CONTROL AUTOMATICO PARA EL  
MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SISTEMA DE AGUA  
POTABLE EL TREBOL**

## SUMARIO

Se necesita satisfacer el requerimiento de agua potable de la población de la zona de el TREBOL de el distrito de los OLIVOS , para esto se extraerá el agua de 02 Pozos ( P-2, P-404 ) a caudal constante hacia un reservorio ( R-4 ) de este reservorio se impulsará el agua hacia el reservorio R-5 , los 02 reservorios entregarán por gravedad el agua potable a la población.

El procedimiento consiste inicialmente en tener la potencia de los motores eléctricos requeridos para evaluar, seleccionar y diseñar el sistema de fuerza, se analizará y diseñará el sistema de control automático más conveniente, análogamente se procederá con el subsistema complementario de supervisión.

Como resultado se tendrá un sistema eficiente que cumpla con los requerimientos de la demanda tanto en volumen de agua como en calidad y en la forma más económica posible, utilizando la ingeniería y el desarrollo de la tecnología.

## INDICE

<b>PROLOGO</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I</b>	
<b>GENERALIDADES</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Introducción</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Antecedentes</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1 Ubicación</b>	<b>4</b>
<b>1.2.2 Volúmen de almacenamiento</b>	<b>4</b>
<b>1.2.3 Golpe de Ariete</b>	<b>5</b>
<b>1.2.4 Esquema hidráulico de bombeo</b>	<b>6</b>
<b>1.2.5 Electrobomba sumergible</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Descripción general del proyecto para el mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable el trebol</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1 Descripción general de pozos y reservorios</b>	<b>7</b>
<b>1.3.2 Funcionamiento del sistema</b>	<b>7</b>
<b>1.4 Estructura global del sistema de fuerza y control automático entre los pozos y reservorios</b>	<b>8</b>
<b>1.4.1 Consideraciones previas</b>	<b>8</b>

1.4.2 Sistema de Fuerza	26
1.4.3 Sistema de control automático	28
1.4.4 Telecontrol y Telemetría entre pozo y reservorios	32
<b>CAPITULO II</b>	
<b>DISEÑO DE INGENIERIA</b>	<b>34</b>
2.1 Criterios	34
2.2 Sistema de fuerza para pozos y reservorios	35
2.2.1 Selección de voltaje de fuerza	35
2.2.2 Caseta de pozo P-2	36
2.2.3 Caseta de bombeo de pozo P-404	62
2.2.4 Caseta de rebombeo de reservorio R4	62
2.3 Sistema de automatismo entre pozos y reservorios	78
2.3.1 Tableros de control automático	78
2.4 Sistema de telemetría y telecontrol entre pozos y reservorios	85
2.4.1 Arquitectura del control de la red de comunicación	85
2.4.2 Redes de telecontrol	85
2.4.3 Diseño para el sistema de radioenlace	88
2.5 Sensores de nivel	95
2.5.1 Transductores de presión con salida analógica para medición de nivel	95
2.6 Sistema de supervisión de control y adquisición de datos (SCADA)	97
2.6.1 Introducción	97
2.6.2 Aplicación del sistema SCADA	98
2.6.3 SCADA para nuestro sistema de agua potable	104

## CAPITULO III

### ESPECIFICACIONES TECNICAS, PRESUPUESTO Y METRADO DEL

<b>PROYECTO</b>	<b>107</b>
<b>3.1 Tableros de fuerza</b>	<b>108</b>
3.1.1 Platinas de cobre	108
3.1.2 Aisladores	108
3.1.3 Interruptor termomagnético general	108
3.1.4 Interruptor termomagnético de electrobomba	108
3.1.5 Interruptor termomagnético de condensador	109
3.1.6 Interruptor termomagnético de distribución	109
3.1.7 Contactor by-pass	109
3.1.8 Arrancador estático de tecnología digital	109
3.1.9 Analizador de redes eléctricas	110
<b>3.2 Banco de condensadores</b>	<b>112</b>
<b>3.3 Puesta a tierra</b>	<b>113</b>
<b>3.4 Tablero de control automático</b>	<b>114</b>
3.4.1 Controlador lógico programable ( P.L.C )	114
3.4.2 Radio modem	115
3.4.3 Display de medición	116
3.4.4 Estabilizador de tensión	116
3.4.5 Batería	116
<b>3. 5 Tablero de transmisión de datos</b>	<b>117</b>
3.5.1 Unidad transmisora por radio de señales analógicas	117
3. 5.2 Batería	117

<b>3. 5.3 Estabilizador</b>	<b>117</b>
<b>3. 5.4 Display</b>	<b>117</b>
<b>3.6 Sensores de nivel</b>	<b>117</b>
<b>3.7 Para el sistema de funcionamiento por telemetría</b>	<b>118</b>
<b>3.7.1 Estructura para antena</b>	<b>118</b>
<b>3.7.2 Antena</b>	<b>118</b>
<b>3.7.3 Cable de RF RG 213</b>	<b>118</b>
<b>3.7.4 Cable de RF Celleflex</b>	<b>119</b>
<b>3.7.5 Instalación de la antena</b>	<b>119</b>
<b>3.8 Electroductos de PVC</b>	<b>120</b>
<b>3.8.1 Propiedades físicas</b>	<b>120</b>
<b>3.8.2 Pegamento</b>	<b>120</b>
<b>3.8.3 Cajas</b>	<b>121</b>
<b>3.9 Conductores eléctricos</b>	<b>121</b>
<b>3.10 Subestación de distribución de 160KVA-10KV/0.460KV-60HZ</b>	<b>122</b>
<b>3.11 Subestación de distribución de 50KVA-10KV/0.230KV-60HZ</b>	<b>123</b>
<b>3.12 Costo de tableros de fuerza y automatización</b>	<b>125</b>
<b>3.12.1 Tableros de fuerza</b>	<b>125</b>
<b>3.12.2 Tableros de automatización</b>	<b>125</b>
<b>3.12.3 Tableros de distribución</b>	<b>125</b>
<b>3.13 Costo de equipamiento para sistema de radioenlace</b>	<b>125</b>
<b>3.13.1 Antenas</b>	<b>125</b>
<b>3.13.2 Torres</b>	<b>126</b>

3.13.3 Cable coaxial	126
3.14 Costo de sensores y medidores	126
3.15 Costo de programas ( software )	127
3.16 Costo de instalación eléctrica, pruebas y puesta en marcha	127
3.16.1 Mano de obra	127
3.16.2 Conductores eléctricos	127
3.16.3 Ductos y cajas	128
3.16.4 Subestación de distribución	128
3.16.5 Pozo de tierra	129
3.16.6 Equipo eléctrico general	129
3.17 Costo total del proyecto	129
CONCLUSIONES	131
ANEXO A	
INFORMACION TECNICA PARA EL EQUIPAMIENTO ELECTRICO	132
ANEXO B	
CATALOGOS DE EQUIPOS DE TELEMETRIA , MEDICION Y	
FUERZA	141
BIBLIOGRAFIA	202



## PROLOGO

El propósito de este proyecto de tesis es dar utilidad y aplicación óptima al desarrollo de la electricidad industrial ,electrónica de potencia y telecomunicaciones en los sistemas de agua potable ya que la ingeniería tiene como finalidad dar solución a los problemas que se presentan para satisfacer las necesidades de una sociedad tomando como parámetros fundamentales el aspecto técnico y económico, con este concepto se dará origen a un sistema de agua potable más eficiente con un equipamiento más duradero disminución de problemas de operación y un costo de mantenimiento menor.

Para el sistema de fuerza se incluirán arrancadores de estado sólido (estáticos) para disminuir la corriente de arranque de las electrobombas, condensadores para corregir el factor de potencia, protección y medición electrónica para el sistema eléctrico.

En el sistema de control automático se aplicará la unidad terminal remota (RTU) para automatismo local, adquisición y almacenamiento de datos, gestión y transmisión de alarmas, interfaces de protocolos que permitan la fácil integración al sistema de equipos específicos de medida y control de otros fabricantes al sistema. La comunicación del sistema será mediante transmisión por radio de señales

digitales y/o analógicas. La Medición de niveles de agua de pozos y reservorios se realizará mediante sensores adecuados.

Este sistema será integrable con el proyecto general de automatización y supervisión que SEDAPAL se propone implementar en Lima y Callao cuyo centro de control general estará en la Atarjea.

La tesis está dividida se según los siguientes capitulos

**Capítulo I** .- En este capítulo se describen aspectos generales del proyecto tales como geográficos e hidraulicos, además de los criterios y conceptos básicos relacionados al sistema de fuerza y control automático.

**Capítulo II** .- Se realiza el diseño y dimencionamiento del equipamiento del sistema.

**Capítulo III** .- Se dan las especificaciones y características técnicas mínimas que debe cumplir el equipamiento de fuerza y control, además se realiza el presupuesto y metrado del proyecto.

La limitación de este proyecto estará sujeto a su estrategia de utilización en los sistemas de agua potable.

# CAPITULO I GENERALIDADES

## 1.1 Introducción

Debido al incremento constante de la población y a su necesidad de agua potable SEDAPAL incrementa año a año trabajos de perforación y equipamiento de pozos, construcción y equipamiento de reservorios, que forman nuevos sistemas de agua potable

En el caso de sistemas existentes , estos son repotenciados, este es el caso del sistema de agua potable el trébol cuyo equipamiento a llegado a su máxima capacidad de operación y no podrá abastecer la demanda proyectada en los siguientes años, motivo por el cual la empresa SEDAPAL ejecutan un proyecto de “Ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable el trebol” el cual constará de Obras civiles, mecánicas, hidráulicas, Electricas , electrónicas y telecomunicaciones.

La obra estará orientada a modernizar el sistema de fuerza y control automático, el cual debe satisfacer la demanda en la forma más optima posible y cumplir con los planes futuros de Sedapal ,para este propósito se desarrollara el proyecto de Tesis “Sistema de Fuerza y Control Automático para el Mejoramiento y Ampliación del Sistema de agua potable el Trebol”.

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 Ubicación

El área del proyecto en el cual se desarrollara el estudio es de 280 has. y se encuentra ubicado en el distrito de los Olivos, provincia y departamento de Lima comprendidas entre las cotas topografías 55 - 120 m.s.n.m. conformada por 02 zonas de presión y teniendo los límites siguientes:

- Por el norte con el cerro Pacifico.
- Por el sur con la A.v. Tomas Valle.

Por el este con la carretera panamericana norte.

- Por el oeste con la A.v. universitaria.

El área de estudio del denominado sistema de agua potable el trébol se encuentra ubicado por las siguientes coordenadas UTM.

	Mínima	Máxima
Longitud	273500	275650
Latitud	8671550	8673200
Altitud	55	120

### 1.2.2 Volúmen de almacenamiento

Se ha realizado el cálculo de volúmen de almacenamiento de regulación y reserva por habilitación, obteniendo un volúmen de 2789 m<sup>3</sup> para las 02 zonas de presión.

- Regulación            2008 m<sup>3</sup>
- Reserva                781 m<sup>3</sup>

- Total 2789 m<sup>3</sup>

El volumen de almacenamiento requerido de la primera zona de presión es de 2689 m<sup>3</sup> y de la segunda de 100 m<sup>3</sup>, el almacenamiento actual es de 700 m<sup>3</sup> presentando un déficit de 1989 m<sup>3</sup> para la primera zona de presión por lo que se ha diseñado un nuevo reservorio R4 de 2000 m<sup>3</sup>. Por condiciones físicas del área de estudio el 95% de la lotización se encuentra en la primera zona de presión ubicado entre los 55 a 80 m.s.n.m y la segunda entre 60 a 120 m.s.n.m. Para el balance hidráulico se ha realizado los cálculos de demanda de agua del área de estudio requiriéndose un caudal de

$q_{md} = 129$  lps por gravedad

$q_b = 172$  lps por bombeo

### 1.2.3 Golpe de ariete

Es la sobre presión producida en la tubería de impulsión. No puede producirse en el arranque de la electrobomba por que la presión producida por esta no puede exceder el valor máximo que indica su curva característica(curva H-Q) en la parada de la electrobomba la columna de agua que se esta bombeando es detenida bruscamente y produce unas ondas de agua en la instalación y si no son amortiguadas golpearan al equipamiento de impulsión incluyendo la electrobomba.

#### a) Medios empleados para reducir el golpe de Ariete:

- La opción de cerrar lentamente la tubería de impulsión se desechará por no ser automático.
- La opción de sobredimensionar el diámetro de la tubería de impulsión encarece el equipamiento.

- Instalar la electrobomba con un arrancador que al momento de mandar a parar a la electrobomba reduzca lentamente la velocidad del motor (desaceleración) y por consiguiente ayudar a amortiguar las ondas de agua en la tubería.

Instalar válvulas de retención y válvulas amortiguadoras.

#### 1.2.4 Esquema hidráulico de bombeo

Es el esquema general de bombeo en el cual se muestra el equipamiento básico de bombeo, con un arrancador de tensión reducida con parada desacelerada y válvula de retención y amortiguadora para disminuir el golpe de ariete.

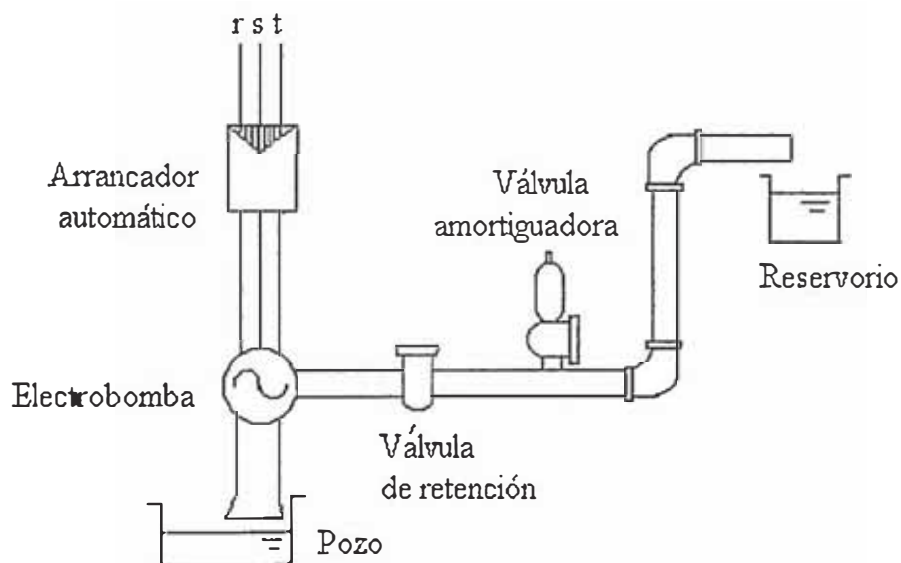


Fig. 1.1 Esquema general de bombeo

#### 1.2.5 Electrobomba sumergible

Debido a los modernos progresos en la técnica de los aislamientos se instalan electrobombas totalmente sumergidas, sin excluir el motor eléctrico con un ahorro de obra civil y no es necesario la construcción del pozo ancho convencional, porque

solo es necesario una perforación con un diámetro suficiente para introducir la electrobomba.

### **1.3 Descripción general del proyecto para el mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable el trebol**

#### **1.3.1 Descripción general de pozos y reservorios**

**Pozo P-404.-** Es un pozo existente, que según los estudios realizados por SEDAPAL tiene una vida de explotación de larga duración, a un caudal de 45 lps. Para este pozo se repotenciará la electrobomba ya que bombea actualmente a la red existente y se ha dimensionado una nueva electrobomba para su nuevo requerimiento de operación.

**Pozo P-2 .-** Es un pozo nuevo que tiene un caudal de operación de 45 lps, Las normas de SEDAPAL para pozos nuevos indican el uso de una electrobomba sumergible.

**Reservorio R4.-** Se va ha diseñar este reservorio, el cual debe tener una capacidad de 2000 m<sup>3</sup> y solventará la primera zona de presión.

**Reservorio R5.-** Este reservorio existe y su capacidad es de 700m<sup>3</sup> y alimenta a la segunda zona de presión y un pequeño porcentaje de la primera zona.

#### **1.3.2 Funcionamiento del sistema**

Las electrobombas de los pozos bombearán al reservorio R4 según su requerimiento y la disponibilidad de los pozos, a un caudal de 45lps cada uno y por gravedad se entregará el agua a la población ( para la primera zona de presión). El reservorio R5 alimentará a la segunda zona de presión y una parte de la primera

zona, también por gravedad. Entre los reservorios R4 y R5 habrá un rebombeo con un caudal de 6.05 lps, de esta manera el reservorio R5 será abastecido de agua.

#### 1.4 Estructura global del sistema de fuerza y control automático entre los pozos y reservorios

##### 1.4.1 Consideraciones previas

###### a) Telecontrol

Es la parte de las telecomunicaciones que ha tenido un desarrollo importante en los últimos años. Básicamente consiste en el envío y recepción de señales de control a distancia que puede ser vía radio, fibra óptica, línea telefónica celular ó satélite. Para nuestro caso estará conformado por las señales de mando a distancia para el arranque y parada de las electrobombas, envío o recepción de alarmas, medición y registro de datos y las señales de telemetría.

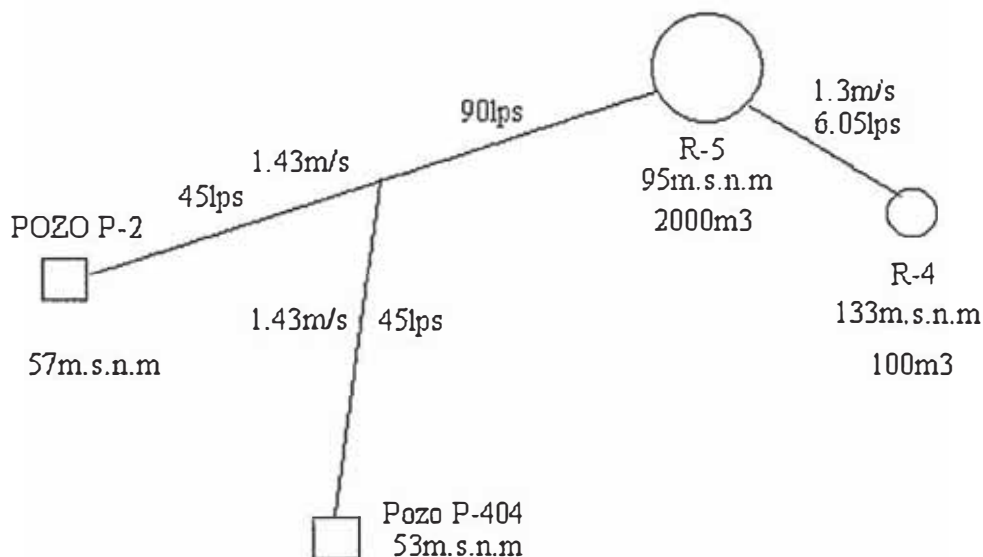


Fig. 1.2 Diagrama del sistema

###### b) Telemetría



Medición de longitud a distancia , para nuestro caso será la media de los niveles de agua de pozos y reservorios que serán transmitidos vía radioenlace.

### c) Medición del sistema eléctrico

Es necesario tener un panorama amplio del comportamiento de los parámetros de nuestro sistema eléctrico, a la vez se necesita supervisar y registrar a distancia la medición de parámetros, como por ejemplo la potencia activa, potencia reactiva, tensión y corriente eléctrica. Anteriormente se tenía un instrumento de cuadro para la medida de cada parámetro eléctrico y con los cuales no se podía realizar la supervisión y registro de datos a distancia .Con el avance de la electrónica se puede tener un solo instrumento que mida los parámetros requeridos y que cuente con puertos de comunicación para la supervisión y registro de datos a distancia.

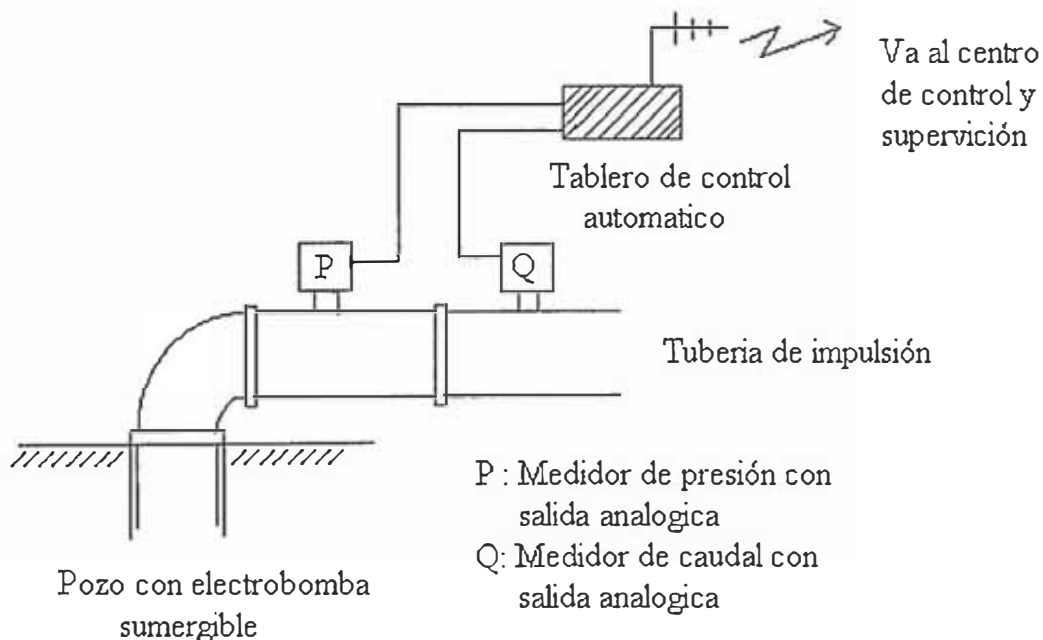


Fig. 1.3 Esquema de medición y registro de datos de caudal y presión

### d) Medición de caudal y presión

Tradicionalmente, se utiliza medidores de caudal y presión los cuales cumplen la finalidad de dar el valor de caudal y presión cuando el operador lo requiere. Con

la automatización de los sistemas de agua potable aparece la necesidad de observar y registrar esta medición a distancia desde un centro de control y supervisión sin necesidad de ir a la caseta de pozo. Para esta función se utilizarán medidores de caudal y presión con salidas analógicas, las cuales serán transmitidas al tablero de control automático el cual las transmitirá mediante radioenlace al centro de control y supervisión ( ver Fig. 1.3).

#### **e) Arranque de electrobomba**

En el funcionamiento de un motor eléctrico, el consumo de corriente eléctrica es mayor en el momento del arranque, debido a que tiene que vencer su inercia .Por lo tanto, durante el arranque el motor eléctrico consume mayor energía entonces se tiene que reducir la corriente de arranque al valor necesario para que el motor pueda vencer la inercia y no tener consumo de energía innecesaria. El arranque a tensión reducida es el método que se utiliza para disminuir la corriente de arranque de los motores asincronos jaula de ardilla que son los motores eléctricos mas comunes utilizados en las electrobombas.

#### **f ) Arrancadores magnéticos utilizados comúnmente**

- **Arranque directo.-** Solamente es utilizado en motores de una bomba de cloro , bomba sumidero que están en el orden de 1HP a 3.5 HP, debido a que es un arranque a tensión plena la corriente de arranque esta en el orden de 5 a 6 veces la corriente nominal del motor por este motivo no es utilizado en electrobombas con potencias mayores a 10HP ya que el consumo de energía en el arranque sería máximo.

**Arranque Y/ $\Delta$  .-** En este arrancador la tensión de arranque es el 57% de la tensión plena y la corriente de arranque inicial es de 2 veces la corriente nominal, en

el momento que se hace el cambio de Y a  $\Delta$  hay un pico de corriente y esta sube hasta 3.2 veces la corriente nominal y se normaliza a la corriente nominal cuando el motor llega a su velocidad nominal.

**Arranque por autotransformador.**-La tensión de arranque esta dada por los taps del autotransformador que pueden ser 50%, 60%, 80% de la tensión plena, la corriente de arranque inicial es de 3.2 veces la corriente nominal (para 80% de la tensión plena en el arranque ) e igualmente que el caso anterior cuando se produce la salida del autotransformador y la conexión de la tensión plena se produce un pico de corriente y luego se estabiliza en la corriente nominal cuando el motor a llegado a su velocidad nominal , para la tensión de arranque del 80% de la tensión plena su torque de arranque es mayor que en el arranque Y/ $\Delta$ .

Vemos que estos arrancadores presentan picos de corrientes en el arranque del motor lo que no permite tener un arranque suave del motor y produce un consumo de energía adicional en los picos de corriente. Para el caso un pozo con un funcionamiento de 8 años con motor eléctrico de 75 HP.220V-60HZ, el ahorro de energía será contundente .

#### **g) Aplicación del arrancador estático**

El desarrollo de la electrónica de potencia nos permite realizar un arranque a tensión reducida suave y sin picos de corriente en el proceso de arranque. Estos arrancadores nos permiten limitar la corriente de arranque según sea nuestra necesidad (de 2 a 5 veces la corriente nominal ) para electrobombas esta regulación puede ser de 2 a 3 veces la corriente nominal.

#### **Otras características:**

- No hay arco eléctrico, ruido eléctrico ni mayor desgaste.
- La actuación de los tiristores de potencia es prácticamente instantánea, también puede ser regulada mediante el control de su gate.
- Su funcionamiento es programado mediante teclado incorporando.
- la visualización de sus parámetros se realiza mediante display incorporado.
- Tiene protección electrónica incorporada para:
  - Desbalance de fases.
  - Secuencia de fases.
  - Máxima y Mínima tensión.
  - Pérdida de una fase.
  - baja carga
  - Cortocircuito de tiristor.
  - Sobrecarga
- A mayor corriente necesita disipadores de calor más grandes.
- El consumo de energía de su tarjeta electrónica es menor que el consumo de las bobinas de los contactores de un arrancador magnético.
- El mantenimiento es mínimo o casi nulo.
- Las fallas son más difíciles de localizar que en un arrancador magnético.
- Son más costosos que un arrancador convencional, pero con una mayor comercialización y desarrollo de la tecnología su costo bajaría.
- Tiempos de aceleración y desaceleración programables.

#### **h) Contactor By-Pass**

Este contactor tiene como finalidad puentear el arrancador estático después que el motor haya arrancado totalmente, de esta manera no castigamos al arrancador estático, minimizamos los armónicos producidos por el arrancador y la posibilidad de su calentamiento.

#### **i) Automatización de los sistemas de agua potable**

La automatización de cualquier sistema de bombeo de agua potable fue resuelta inicialmente con la utilización de tableros de control con circuitos hechos a base de contactores auxiliares, temporizadores neumáticos o electrónicos. Pero a mayor complejidad de la automatización esta solución resultaba poco flexible ya que cualquier variación del proceso implicaba un recableado del circuito de automatización, el número de contactores auxiliares crecía y el cableado también lo que implicaba más puntos de posible falla a esto se le suma el mantenimiento a los contactos y bobinas de los contactores. Estos tableros de control solo reciben y entregan señales discretas y no son compatibles con modem radio, puertos de comunicación, señales analógicas y/o digitales los cuales son implementados en el sistema. Esta disminución en la flexibilidad, confiabilidad y precisión de la automatización de los sistemas de agua potable fue resulta con el uso de el controlador lógico programable ( PLC ) el cual consta de 2 partes fundamentales:

- CPU
- Interface de entradas y salidas

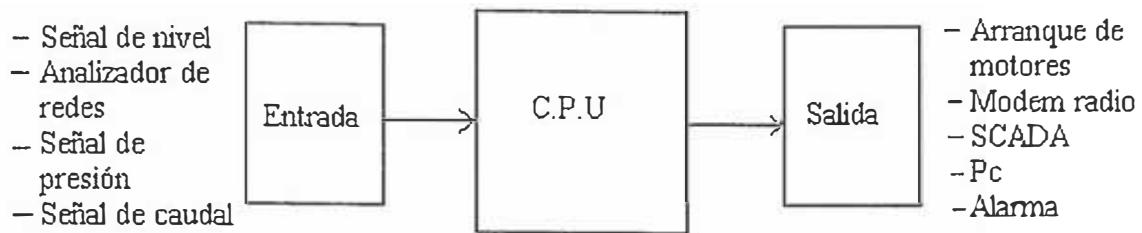


Fig. 1.4 Partes fundamentales del P.L.C

El PLC realiza cualquier tipo de automatización en base a lógica programada con el lenguaje escalera que es grabado en la memoria de la CPU del PLC con una PC y ejecutado por la CPU del mismo. El lenguaje escalera consta de bobinas, contactos, temporizadores y contadores lógicos los cuales forman un circuito lógico programado por el usuario el cual es ejecutado por el CPU cuando ingresan señales a este, el resultado del programa es reflejado en las señales de salida del PLC. Con el avance de la tecnología los PLCs han evolucionado y en la actualidad existen PLCs muy potentes que cuentan con nuevas características y amplias aplicaciones ya que inicialmente fue creado para realizar automatizaciones de procesos industriales (Producción de automóviles, plásticos, embotelladoras, etc.).

La aplicación que se dará al PLC en nuestro proyecto es el de unidad terminal remota (RTU) en un sistema integrado de telemetría y telecontrol para el control automático del sistema de agua potable.

#### j) Corrección del factor de potencia del sistema eléctrico

El factor de potencia tiene significado técnico-económico muy importante en la instalación eléctrica ya que la corriente consumida por la carga depende de su factor de potencia (Ecuación 1.1) y en consecuencia sobre las pérdidas (Ecuación 1.2).

$$I = P / (\sqrt{3} \times V \times \cos\phi) \quad (1.1)$$

$$\Delta P = I^2 \times R \quad (1.2)$$

Donde :

V : Tensión de operación

P : potencia activa que se transforma en potencia mecánica

R : resistencia eléctrica

$\cos\phi$  : factor de potencia

$$Q = P \times \tan\phi \quad (1.3)$$

La potencia reactiva Q (Ecuación 1.3) no es transformada en potencia mecánica, pero es consumida por el motor eléctrico y este la absorbe de la red, en conclusión si el factor de potencia es bajo la corriente aumenta y en consecuencia las pérdidas aumentan además el consumo de potencia reactiva aumenta ya que la  $\tan\phi$  aumenta cuando el  $\cos\phi$  disminuye.

Para minimizar los costos de operación relacionado a minimizar pérdidas y consumo de potencia reactiva se usa el condensador de potencia el cual corrige el f.p para disminuir la corriente absorbida de la red y absorber de esta menos potencia reactiva. Esto trae como consecuencia una estabilización de la tensión de la red y reduce las pérdidas de transporte.

En una instalación eléctrica con compensación reactiva el factor de potencia puede estar comprendido entre 0.9-0.98, ya que no es conveniente corregir a 1.0 por que en algún momento se puede generar una sobrecompensación y originaria un incremento de la tensión de la red.

En el momento del arranque del motor este no desarrolla su potencia nominal hasta que el motor ha arrancado completamente en ese momento debe insertarse el

condensador ya que se puede producir una sobretensión debido a una sobrecompensación.

En vista de que cada caseta de bombeo posee una subestación eléctrica propia, la compensación reactiva del sistema se realizará individualmente, esto quiere decir que cada motor eléctrico tendrá su condensador dimensionado para corregir su factor de potencia.

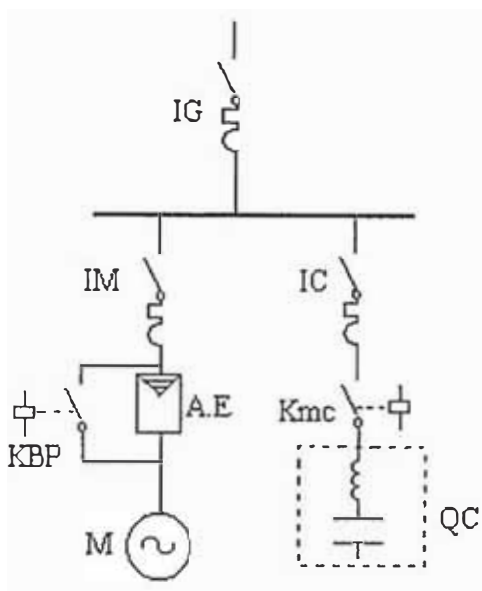


Fig. 1.5 Esquema eléctrico para compensación reactiva

A.E :Arrancador estático

Kmc : Contactor con operación temporizada para conexión del condensador

KBP:Contactor by-pass

IM ; IG ;IC : Interruptores termomagnéticos

QC : Condensador Antirresonante.

### k) Armónicos y resonancia

El uso de arrancadores estáticos trae como consecuencia armónicos en el momento del arranque y después de este , el equipamiento del tablero de control es electrónico los cuales consumen corriente no lineal y en consecuencia se producen armónicos.



La utilización de condensadores de potencia origina con la reactancia del sistema eléctrico un circuito de oscilación en el cual se puede originar sobrecorrientes de los armónicos superiores según la potencia del condensador conectado, el uso de estos equipos aumenta la posibilidad del fenómeno de resonancia.

#### **Criterios para minimizar la posibilidad la resonancia:**

- En el momento del arranque el condensador no debe estar conectado al sistema eléctrico.
- Luego que el motor ha arrancado se puentea el arrancador estático con un contactor by-pass , con esto la corriente consumida por el motor en régimen nominal es senoidal.
- Con una temporización de la conexión del condensador este se conecta al sistema eléctrico luego de que el contactor BY-PASS ha operado.
- Al condensador de potencia se le pone en serie una inductancia (condensador antiresonante, Fig. 1.5 ) la cual origina que para los armónicos superiores la impedancia total de estos se comporte como inductiva.

#### **m) Protección del sistema eléctrico**

El correcto diseño de la protección de un sistema eléctrico es vital ya que en caso que este no funcione al producirse una falla, se origina el deterioro ó destrucción de la instalación eléctrica en la zona de falla y en caso extremo se producirían pérdidas humanas. Una mala operación de la protección puede originar la desconexión parcial o total del sistema eléctrico.

#### **Tipos de falla y su protección :**

**Sobrecarga.-** Es el sobre consumo de corriente por parte de la carga el cual puede originar calentamiento, disminución del aislamiento de conductores ,máquinas eléctricas , y demás equipamiento debido al aumento de temperatura.

**Cortocircuito.-** Es la falla más severa en una instalación eléctrica ya que en pocos segundos puede destruir una instalación eléctrica en el punto de falla.

Para proteger a la instalación eléctrica de fuerza contra las sobrecarga y el cortocircuito se utilizarán ; Disyuntores magneto-térmicos, más conocidos como interruptores termomagnéticos los cuales tienen como características fundamentales:

- Se utilizan para maniobra y protección contra sobrecarga y cortocircuito.
- Son para valores fijos y regulables.
- Tienen capacidad de ruptura variable según modelo.
- En caso de su operación por falla y corrección de ésta se realiza el recierre.
- Facilita la coordinación de la protección.
- Ofrece mayor confiabilidad técnica de operación.
- Tiene el costo de reposición bajo en el tiempo.
- Están sujetas al avance de la tecnología en fabricación y métodos de prueba.

• **Falla de aislamiento .-** Ocurre cuando un equipo eléctrico pierde su aislamiento por envejecimiento, calentamiento de aislamiento o hay cortes de conductores, empalmes mal aislados que ocasionando que la carcasa metálica del equipo ó tablero eléctrico queda energizada y con el peligro que las personas por contacto con estas reciban un shock eléctrico .La protección se realiza conectando la carcasa de los equipos eléctricos al conductor de puesta a tierra . Para los circuitos de tomacorrientes y alumbrado de las casetas se utilizara interruptores termomagnéticos

diferenciales los cuales aparte de proteger por sobrecorriente también lo hace por falla a tierra protegiendo de esta manera a las personas.

• **Criterio para la protección de motores eléctricos :**

**Motor eléctrico de la bomba de agua**

El interruptor termomagnético de la Electrobomba será regulable para un ajuste exacto de la protección térmica y magnética.

Los fabricantes de arrancadores estáticos incorporan protección electrónica contra sobrecarga, máxima y mínima tensión, desbalance de fases, secuencias de fases, baja carga y perdidas de una fase. Debido a esta facilidad no es necesario utilizar relés de protección externos que realizan esta función.

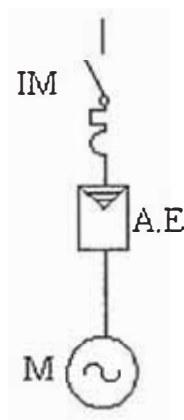


Fig. 1.6 Protección del motor eléctrico de la bomba de agua.

M : Motor eléctrico de la bomba de agua.

A.E : Arrancador estático con protección electrónica incorporada

IM : Interruptor termomagnético regulable

**Motor eléctrico de la bomba de cloro**

Debido a la pequeña potencia de este motor se utilizara la protección básica que consta de un relé térmico e interruptor termomagnético fijo.

#### **n) Medición de los nivel de agua en los reservorios y pozos para el funcionamiento de electrobombas**

Una de las formas de medición de niveles utilizado en pozos y reservorios es mediante unidades electrónicas para el control del nivel, los cuales usan como elementos detectores de nivel a electrodos de acero inoxidable, los cuales son sumergidos mediante conductores en los pozos y reservorios.

Esta forma de medir niveles tiene varios puntos débiles los cuales ocasionan un aumento en el presupuesto y un aumento de costos en el mantenimiento y la posibilidad que falle el sistema automático por factores externos comunes.

Debido a que los reservorios y pozos se encuentran generalmente separados varios kilómetros se necesita tender conductores eléctricos de control entre los reservorios y pozo a la caseta del tablero de control , lo cual encarece el presupuesto ya que se han llegado a instalar hasta 2 cables con 6 conductores de alambre aislados entre si cada uno para instalarse enterrados ,debido a que los conductores que sostienen a los electrodos en los reservorios se enredan entre si, dan señales falsas del nivel, se tiene personal de mantenimiento que constantemente los desenredan y limpian ocasionando mayor costo de mantenimiento y paralización del sistema automático.

La caída del sistema automático se origina por situaciones de rotura de pistas, intentos de robo de energía en los conductores de control por tal fin estos son

cortados y por consiguiente hay un costo adicional para solucionar el problema. A esto se suma el desabastecimiento de agua potable.

El costo fijo total debido a estas deficiencias mencionadas puede ser minimizado de la siguiente manera:

- La utilización de varios electrodos de nivel para el funcionamiento del sistema automático ( fig. 1.7) tiene muchas desventajas, se podría pensar en minimizar el numero de electrodos, pero por cada nivel se necesita un electrodo por ejemplo:

Para el nivel de rebose del reservorio : 1 electrodo

Para el nivel de parada de electrobomba : 1 electrodo

Para el nivel de arranque de electrobomba : 1 electrodo

Para el nivel mínimo en reservorio : 1 electrodo

Adicionalmente para cerrar el circuito un electrodo de tierra : 1 electrodo

En total tenemos 5 electrodos, pero podrían ser más, puesto que por una electrobomba adicional se necesita aumentar 2 electrodos mas (arranque y parada).

En algunos casos hay reservorios que trabajan hasta con 3 pozos.

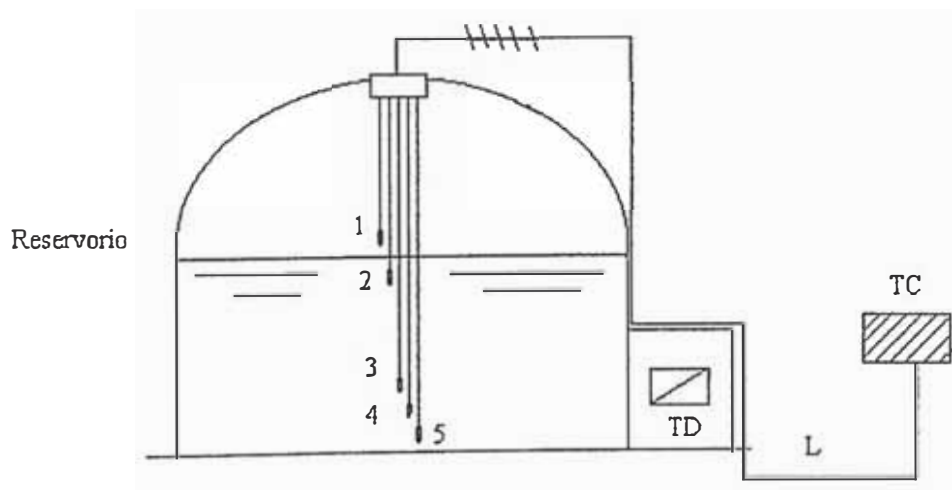


Fig. 1.7 Esquema de medición de niveles utilizando electrodos de nivel.

- 1 :Electrodo de rebose en reservorio
- 2 :electrodo de parada de electrobomba
- 3 :Electrodo de arranque de electrobomba.
- 4 :Electrodo de mínimo nivel en reservorio.
- 5 :Electrodo de tierra.
- TC : Tablero de control.
- TD : Tablero de distribución.

Se sustituirá el sistema de medición de niveles por electrodos por la utilización de sensores de nivel ( Fig. 1.8 ) el cual tiene la posibilidad de medir varios niveles entonces bastara utilizar para el ejemplo anterior un solo sensor de nivel el cual podrá medir los 5 niveles requeridos, ya que cuenta con salida analógica la cual es proporcional al nivel de agua que hay en el reservorio.

El envío de señales de nivel utilizando conductores de control tendidos será sustituido por un sistema de telemetría ( Fig. 1.8 ) el cual se realizara por medio de una unidad de telemetría la cual recibirá las medidas de tipo analógico registrada por el sensor de nivel y la trasmitirá vía radio al tablero de control automático respectivo.

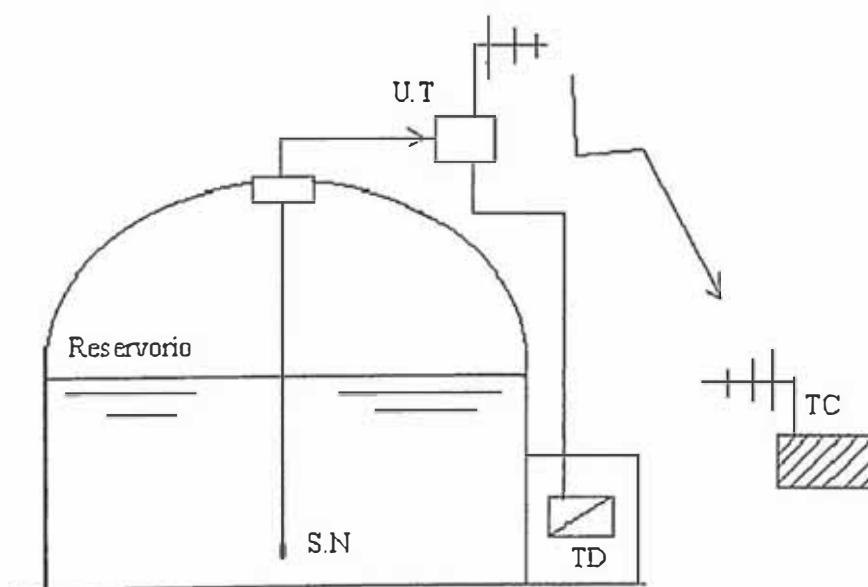


Fig. 1.8 Esquema de medición de niveles utilizando sensores de nivel y unidad de telemetría

S.N : Sensor de nivel  
TC : Tablero de control  
TD: Tablero de distribución  
U.T : Unidad de telemetría

De esta manera se ha simplificado y optimizado el sistema de medición de niveles de agua en reservorios y pozos.

### **o ) Unidad terminal remota (RTU)**

Las RTUs realizan funciones de interfaz de comunicación y procesamiento. La capacidad de programación se logra mediante un microprocesador incorporado el cual realiza la captura, edición, actualización, archivo, cálculo y manipulación de los datos fuente. La RTU tiene típicamente una capacidad de memoria de 2K a 8K bytes. El byte se compone de 8 bits. La RTU también puede tener una memoria ROM en la que se puede definir hasta 50 macro instrucciones. Una macro instrucción es un grupo de micro instrucciones que realizan funciones lógicas, aritméticas y de E/S. En la actualidad es común el uso de RTUs para el enlace de comunicación a través de un controlador del enlace de datos común (RTU maestra).

### **Partes básicas de una unidad terminal remota**

- Dispositivo de entrada y salida (E/S)
- Equipo terminal de procesamiento
- Interface de comunicación para modem u otro dispositivo que acondiciona la señal de datos para hacerla compatible con el medio de transmisión o lo inverso.

La RTU es el puerto básico de entrada a la red de transmisión. Puede ser la fuente o el dispositivo que recibe la información (señal de arranque/parada ,medición y registro de datos) y en la mayoría de los casos, sirve para ambos

propósitos simultáneamente. La RTU maestra es esencialmente un periférico del centro de control, distanciados por la línea de transmisión (sistema de radioenlace), donde la RTU acepta y transmite una corriente de bits en serie.

#### **p) Protocolo de comunicación**

Es el conjunto de procedimientos por los cuales se logra la comunicación de condiciones estándar. El protocolo trabaja con las funciones de control, se debe distinguir entre el control del enlace de datos y el control del dispositivo de usuario.

El enlace de datos es la configuración del equipo que permite la comunicación directa entre dos unidades terminal remota diferentes, incluyen los modem u otros convertidores de señal y las antenas.

El dispositivo de usuario, claro esta es el PLC, el enlace se establece mediante la comunicación inicial entre módem de emisión y recepción.

#### **q) Modem**

Significa MODulador–DEModulador para nuestra aplicación será un modem radio el cual convertida las señales de control ó datos procesados por el PLC a valores de frecuencia dentro del ancho de banda del sistema de radioenlace y las transmitirá a otra RTU

El modem modula y demodula una señal en general. El tipo de modulación que se usa en los modems radio de la actualidad puede ser uno o una combinación de los siguientes.

- Modulación digital
- Modulación de amplitud
- Modulación por desviación de frecuencia.



Modulación por desviación de fase.

### **r) Señal analógica y digital**

En la transmisión analógica cuando existe medición de niveles ,caudal y presión (transductor con salida analógica) esta señal está en mA o mV , en forma proporcional a la medición y es continua. En la transmisión digital (puertas de comunicación y modem radio) es discreta. La forma más simple de transmisión digital es la binaria, en la cual a cada elemento de información se le asigna uno de 02 posibles estados por ejemplo arranque de un motor (1), parada de una motor (0).

Se ha establecido todo un sistema de numeración en base a 2 valores a lo que, por convención, se les asignan los símbolos “1” y “0”. Este es el sistema binario cuya base es 2, otros sistemas son el decimal con base 10, octal con base 8 y el hexadecimal con base 16.

El elemento básico de información en el sistema binario se conoce como bit, que es la abreviatura de binary digit (dígito binario) el bit puede valer 1 ó 0.

Se puede codificar cierto número de bits para identificar una gran cantidad de información.

El IEEE define código como un plan para representar cada uno de los valores o símbolos de un grupo finito de ellos mediante un arreglo particular o secuencia de condiciones o eventos discretos.

### **s) Sistemas de radioenlace**

Debido a los inconvenientes y limitaciones mencionadas en la sección (m) sobre la comunicación a distancia para el control de electrobombas y medición de niveles mediante conductores se ha optado por un sistema de radioenlace para dicha

comunicación la cual realizará la transmisión de datos de telecontrol y telemetría entre los pozos y reservorios.

- **Antena** .- Uno de los dispositivos importantes en un sistema de radioenlace es la antena , que irradia o recepciona ondas electromagnéticas (onda portadora). Una misma antena puede servir como receptora y transmisora ya que las diferencias son muy pequeñas (principio de reciprocidad).

- **Reciprocidad** .- Si se aplica a los terminales de un circuito A una fuerza electromotriz y produce una corriente en otro circuito B, la misma fuerza electromotriz aplicada a los terminales B producirá la misma corriente en los terminales del circuito A.

- **Ganancia de una Antena**

$G = (\text{Potencia radiada por la antena}) / (\text{Potencia radiada por una antena de referencia})$

- **Radiador Isotropico** .- Es una antena muy elemental pero muy importante teóricamente, es el radiador isotropico o puntiforme, el cual sirve como base de comparación o referencia con otros tipos de antena. Este irradia energía de la misma forma en todas direcciones.

Ganancia(isótropa) = 1

#### 1.4.2 Sistema de Fuerza

El voltaje del sistema de fuerza dependerá de la potencia que se requiere ya que con el voltaje podemos limitar la corriente del sistema y por lo tanto tener un equipamiento e instalación eléctrica menos costosa.

Potencia  $\leq$  100 HP ; voltaje = 220 VAC

Potencia  $>$  100 HP ; voltaje = 440 VAC

Según la opción determinada se coordinará con la empresa de distribución correspondiente para el montaje de la subestación de distribución respectiva.

#### **a) Tableros de fuerza**

Es el tablero general de baja tensión el cual contiene los instrumentos de medición y protección eléctrica ,compensación reactiva , alimentación a sub-tableros y arrancador para electrobombas.

Existirán tableros de fuerza en

- Caseta de Pozo 2
- Caseta de Pozo 404

Caseta de Reservorio de rebombeo R-4

#### **b) Equipamiento de tableros de fuerza**

- Barras colectoras , diseñadas para soportar esfuerzos electrodinámicos de c.c.
- Arrancador de tensión reducida para eletrobomba
- Arrancador directo para bomba de cloro (en caso de pozos)
- Protección contra cortocircuito, sobrecarga ,sobretensión , baja tensión , pérdida de una fase, secuencia de fases ,baja carga, desbalance de fases y retardo de arranque por corte de energía.

Bobina de disparo automático de interruptor de electrobomba para casos de emergencia.

- Analizador de redes para medición de parámetros eléctricos, con puertos de comunicación para supervisión y adquisición de datos.
- Compensación reactiva para corregir el f.p.
- Alimentación de tablero de control.

Alimentación de tablero de distribución

### 1.4.3 Sistema de control automático

Cada caseta de pozo y reservorio estará equipado con un tablero de control automático.

#### a) Características tableros de control

Los tableros de control deben estar diseñados para realizar las siguientes funciones:

- Realizar la telemetría , vía radioenlace si es necesario.
- Enviar y recibir señales de control a distancia, vía radioenlace.

Recepcionar y enviar señales para almacenamiento y reporte de datos a distancia, vía radioenlace.

- Realizar automatización local si es necesario
- Batería de larga duración para autonomía de alimentación en caso de falla de la red.

#### b) Automatización

Esta conformada por una automatización local centralizada , la cual se desdobra en dos etapas:

La primera etapa de automatización comprenderá el funcionamiento de las electrobombas en los pozos con el reservorio R-4, el funcionamiento de esta automatización, se realizará según las señales de nivel enviadas de los pozos y el reservorio R.4.

- **Primera etapa de funcionamiento**

Si el nivel de agua del reservorio de R4 esta por debajo del nivel b4 arrancaran

las 02 electrobombas (el diseño hidráulico esta previsto para tal funcionamiento ) y funcionaran hasta que el nivel de agua llegue al nivel b2, cuando el nivel del agua baje en R4 y llegue al nivel b3 funcionará la electrobomba del primer pozo hasta recuperar el nivel b2, si el nivel sigue bajando y llega al nivel b4 arrancara la electrobomba del segundo pozo y funcionará hasta que el nivel de agua llegue al nivel b2. Este funcionamiento se repetirá periódicamente por lo tanto el funcionamiento de las el electrobombas de pozos se alternaran, esto quiere decir que para el segundo periodo arrancará la electrobomba del segundo pozo y si el nivel sigue bajando hasta el nivel b4, arrancara la electrobomba del primer pozo y funcionaran hasta que se recupere el nivel b2 , si el nivelde agua sube por algún motivo hasta el nivel b1 se dará señal de alarma por rebose en reservorio.

### Niveles de bombeo en pozos

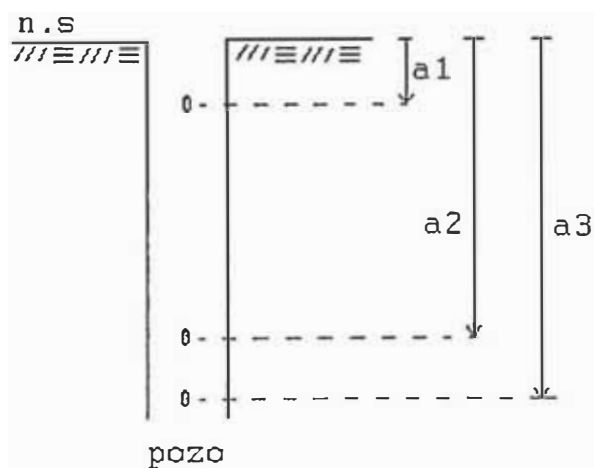


Fig. 1.9 Niveles en pozo para funcionamiento del control

Nivel a1 : nivel de disponibilidad para arranque de electrobombas

Nivel a2 : Nivel de no disponibilidad para arranque de electrobomba.

nivel a3 : mínimo nivel en pozo.

- **Niveles de bombeo de reservorio R4**

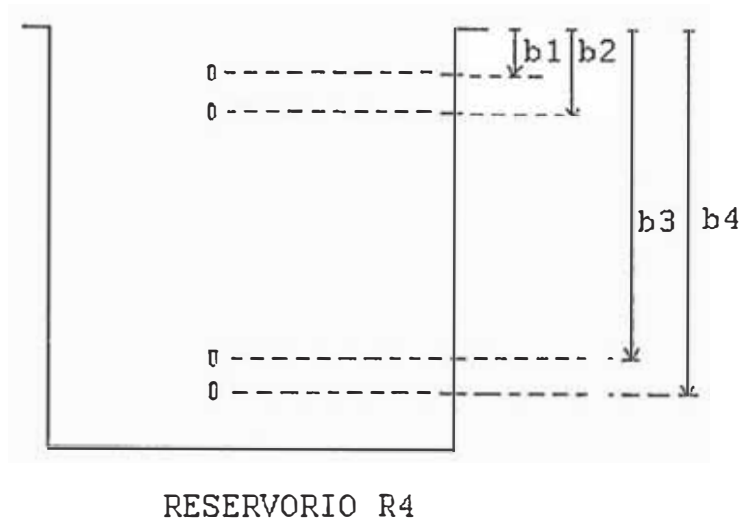


Fig. 1.10 Niveles en R4 para funcionamiento del control

Nivel b.1: Nivel de rebose en reservorio R-4

Nivel b.2: Nivel de parada de electrobomba en pozos.

Nivel b.3: Nivel de arranque 1 de electrobomba de pozo.

Nivel b.4: Nivel de arranque 2 de Electro bomba de pozo.

Si el nivel de agua en algún pozo esta por debajo del nivel a2, la electrobomba respectiva no podrá arrancar hasta que nivel de agua suba hasta el nivel a1, si el nivel de agua en el pozo baja hasta el nivel a3 se dará señal de alarma por mínimo nivel de pozo.

La segunda etapa de automatización local comprende el rebombeo de agua entre los reservorios R4 y R5, este rebombeo será realizado por 02 electrobombas cuya potencias serán calculadas, según el diseño hidráulico.

- **Segunda etapa de funcionamiento**

Cuando el nivel de agua del reservorio R5 este por debajo del nivel D3 arrancará la primera electrobomba de rebombeo y funcionará hasta que el nivel de agua suba hasta D2. Si el nivel de agua sigue bajando (producto del consumo de agua de la

población) hasta el nivel D4, arrancará la segunda electrobomba de rebombeo y funcionará hasta que el nivel de agua suba al nivel D2, para el siguiente ciclo la secuencia de arranque será con el funcionamiento de la 2da. Electroboomba de rebombeo. Este alternado se realiza para un funcionamiento parejo de las electrobombas. Si el nivel del agua sube hasta llegar al nivel D1, se dará la señal de rebose en reservorio, análogamente cuando el nivel de agua baja astá el nivel D5 (reservorio R.5) ó C3 (reservorio R4) se dará señal de alarma por mínimo nivel en el reservorio respectivo.

- **Niveles de rebombeo en reservorio R4**

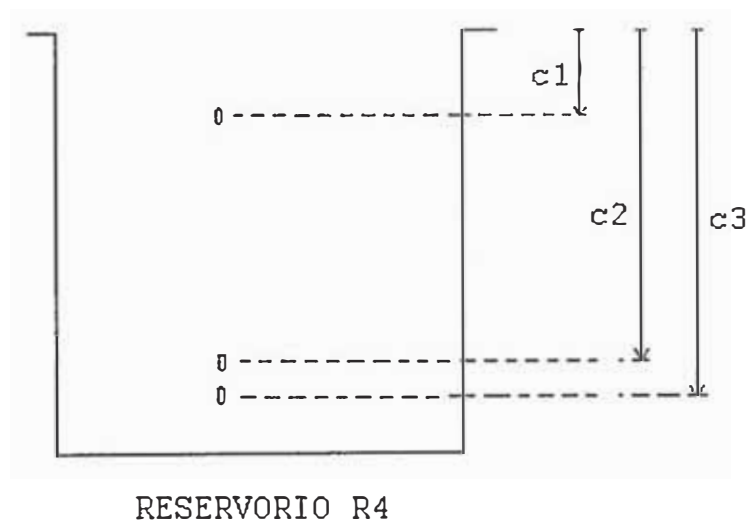


Fig. 1.11 niveles de rebombeo en R4 para el funcionamiento del control  
 Nivel c1: Nivel de disponibilidad para arranque de electrobomba de rebombeo.  
 Nivel c2: Nivel de disponibilidad para arranque de electrobomba de rebombeo.  
 Nivel c3: Nivel mínimo de reservorio.

En caso de que el nivel de agua del reservorio de rebombeo R4 estuviera por debajo del nivel c2. Las electrobombas de rebombeo no estarán disponibles hasta que el nivel de agua llegue a nivel C1.

• Niveles de bombeo reservorio R5

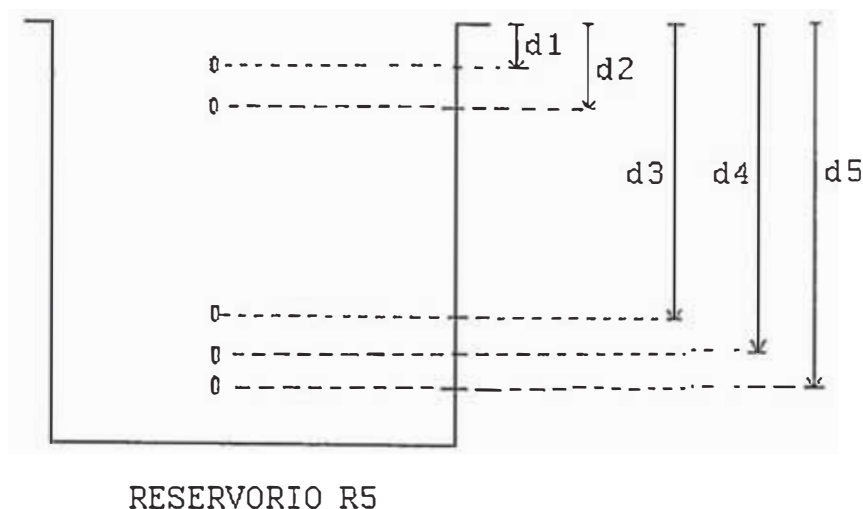


Fig. 1.12 Niveles en R5 para el funcionamiento del control

Nivel D1: Nivel de rebose en reservorio.

Nivel D2: Nivel de parada de electrobombas de rebombeo.

Nivel D3: Nivel de arranque 1 de electrobomba de rebombeo.

Nivel D4: Nivel de arranque 2 de electrobomba de rebombeo.

Nivel D5: Nivel mínimo en reservorio.

#### 1.4.4 Telecontrol y Telemetría entre pozo y reservorios

##### a) Tableros de control maestro y esclavo

Se tendrá un tablero de control maestro ubicado en la caseta del reservorio de rebombeo R4 , dos tableros de control esclavos ubicados en las casetas de pozo y 01 tablero esclavo para telemetría en la caseta de reservorio R5.

##### b) Estructura de telecontrol y telemetría

Las medidas de los niveles de agua en pozos y reservorios serán recepcionadas por los tableros de control esclavos, estos enviarán las medidas vía radioenlace y serán recepcionadas por el tablero de control maestro, este las procesará y enviará las



señales de mando respectivas a cada tablero de control esclavo y estas a su vez al tablero de fuerza respectivo.

La medición de los parámetros eléctricos y físicos, realizado por los instrumentos de medida respectivos serán transmitidos vía radioenlace al tablero de control maestro el cual está interconectado con un sistema SCADA para la supervisión del funcionamiento del sistema .

Todas las medidas de nivel de agua y de los parámetros eléctricos y físicos realizados en la caseta del reservorio R4 serán transmitidas directamente al tablero de control maestro.

## CAPITULO II DISEÑO DE INGENIERIA

### 2.1 Criterios

Para el diseño del sistema de fuerza y control automático tendremos en cuenta los criterios de seguridad, flexibilidad en el funcionamiento del sistema, considerando también los problemas de operación y mantenimiento, existentes en los sistemas de fuerza y control automático tradicionales utilizados por SEDAPAL, para así minimizarlos ó corregirlos.

Los aspectos técnicos se basan en normas aceptadas por SEDAPAL (VDE, IEC, NEMA, IEEE, DIN y CNE ).

El dimensionamiento y selección del equipamiento estará de acuerdo a la realidad del mercado industrial, para que exista una correcta compatibilidad entre el proyecto y la realidad.

El diseño tendrá en consideración la parte económica y técnica para tener la solución más conveniente además deberá cumplir con las metas trazadas por SEDAPAL, lograr sistemas de agua potable más eficientes técnica y económicamente, con una mayor calidad de servicio y que se integren en el futuro.

Como punto de partida se tomarán las potencias de las electrobombas seleccionadas en base a cálculos hidráulicos. Para desarrollar el sistema de fuerza de

cada caseta de bombeo, para cada dimensionamiento o cálculo se mencionará la norma respectiva. Para las instalaciones de fuerza y control se utilizarán los planos de diseño civil para considerar las ubicaciones del equipamiento ,distancias de tuberías, metrados , etc.

El control automático será desarrollado bajo el criterio de automatización integral , con supervisión desde un centro de control , con lo que se buscará el funcionamiento optimo del sistema. Idénticamente al sistema de fuerza, se buscará el equilibrio técnico - económico y cada cálculo o dimensionamiento estará fundamentado, se analizará los posibles problemas que pudieran presentarse en el sistema de telemetría y telecontrol para corregirlo, ya que recién se está implementando y no se tiene la experiencia necesaria en la operación de estos sistemas.

## **2.2 Sistema de fuerza para pozos y reservorios**

La potencia de las electrobombas para el bombeo de agua al reservorio R4 y el rebombeo a R5 se ha calculado según los datos de caudal, velocidad, altura entre pozos y reservorios y perdidas en el sistema hidráulico

### **2.2.1 Selección de voltaje de fuerza**

El voltaje para el sistema de fuerza de los Pozos P-2 y P-404 será 440V-60HZ ya que tener una electrobomba sumergible de 125 HP en 220V-60HZ , implica una mayor corriente nominal, además para electrobombas de esta potencia el voltaje de 440V-60HZ es usual, además el equipamiento en 440V-60HZ es más económico debido a la disminución de la corriente (respecto a 220V-60HZ).

Para las electrobombas de rebombeo (en caseta de reservorio R4) el voltaje del sistema de fuerza será 220V-60HZ, ya que el motor eléctrico de 12HP-220V-60HZ, es usual, el costo de equipamiento con respecto al sistema 440V-60HZ es el mismo prácticamente .

Tabla 2.1

	CASETA POZO P-2	CASETA POZO P-404	CASETA RESERVORIO R4
POTENCIA HP	125	125	12
Nro DE ELECTROBOMB AS	1	1	2
VOLTAGE NOMINAL V	440	440	220
FACT. DE POTENCIA	0.87	0.87	0.85
EFICIENCIA	0.93	0.93	0.84
RPM	1765	1765	3460

### 2.2.2 Caseta de pozo P-2

#### a) Cálculos eléctricos

- **Estudio de carga** .- Comprende cargas en 440V y en 220V.

#### Cargas en 220V

$$PI(\text{alumb.}) = 200W$$

$$M.D(\text{alumb.}) = 160W$$

$$PI(\text{tomac.}) = 5040W$$

$$M.D(\text{tomac.}) = 4032W$$

$$S(\text{alumb.}+\text{tomac.}) = 4658\text{VA} (\text{f.p.}=0.9)$$

$$\text{Equipos de control : } S(\text{control}) = 1000\text{VA}$$

### **Bomba de cloro :**

$$n=70 \%$$

$$\text{f.p.}=0.75$$

$$P=2.4\text{HP}$$

$$3\phi$$

$$S(\text{b.c.})= 3410\text{VA}$$

$$\text{Carga total en 220V-60HZ : } S(\text{total}/220\text{V})= 9068\text{KVA.}$$

### **Cargas en 440V**

#### **Electrobomba de agua**

$$n=93\%$$

$$\text{f.p.}= 0.87$$

$$P=125\text{HP}$$

$$S=115251.5\text{VA}$$

$$S(\text{total}/440) = 124319.5 \text{ VA}$$

- Dimencionamiento de transformador de B.T :

$$440/220\text{V}$$

$$10\text{KVA}$$

60HZ

3x $\phi$

◦ **Subestación de distribución**

En vista de que la empresa distribuidora de energía (EDELNOR) dará el servicio de suministro en 10KV, es necesario incluir en el proyecto la subestación aérea biposte , la cual sera 160KVA-10KV/0.460KV-60HZ

**Cálculo de alimentadores**

Según CNE ( Tomo V ) ,  $\Delta V(\text{Alimentador}) \leq 2.5\%$ ,  $\Delta V(\text{Max}) \leq 4\%$

**Alimentador principal :**

$I_n = 163.13A$

$L = 15m$

3x70mm<sup>2</sup> THW+ 1x35mm<sup>2</sup>-  $\phi$ 50mm. PVC-SAP

**Alimentador de electrobomba :**

$I_n = 151.23A$

$L = 50m$

3x70mm<sup>2</sup> + 1x35mm<sup>2</sup> -  $\phi$ 50mm. PVC-SAP

El aislante de este conductor será resistente al agua , esto es necesario, porque el conductor estará sumergido en agua. Sera suministrado junto con la electrobomba sumergible

**Alimentador de transformador de B.T :**

$$I_n = 12A$$

$$3 \times 4 \text{mm}^2 \text{ THW} + 1 \times 4 \text{mm}^2$$

**Alimentador de bomba de cloro:**

$$I_n = 8.4A$$

$$L = 10 \text{mt}$$

$$3 \times 4 \text{mm}^2 \text{ THW} + 1 \times 4 \text{mm}^2 - \phi 20 \text{mm. PVC-SAP}$$

**Alimentador de tablero de distribución:**

$$I_n = 12.2A.$$

$$L = 8 \text{mt}.$$

$$3 \times 6 \text{mm}^2 \text{ THW} + 1 \times 4 \text{mm}^2 - \phi 20 \text{mm. PVC-SAP}.$$

**Alimentador de tablero de control:**

$$I_n = 4.55A$$

$$L = 8 \text{ mt}.$$

$$3 \times 4 \text{mm}^2 \text{ THW} + 1 \times 4 \text{mm}^2 - \phi 20 \text{mm. PVC-SAP}.$$

**Condensador de potencia :** Ver sección k).

**Circuitos derivados de alumbrado y tomacorrientes**

Se utilizará conductor de  $2 \times 4 \text{mm}^2 + 1 \times 4 \text{mm}^2 - \phi 20 \text{mm. PVC}$ .

**b) Cálculo de corriente de cortocircuito simétrica**

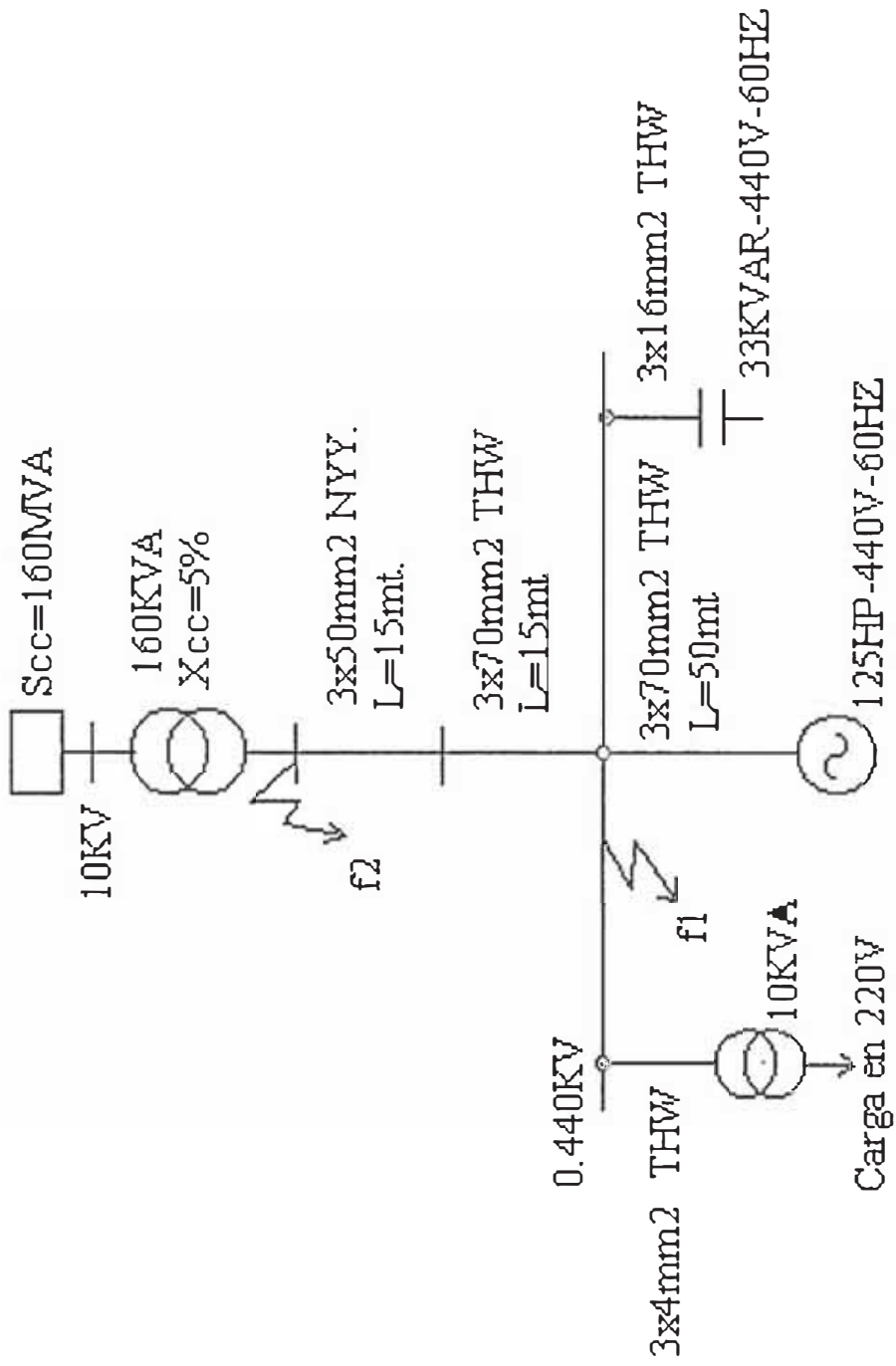


Fig. 2.1 .Sistema eléctrico de B.T para cálculo de cortocircuito simétrico



(Según norma VDE 0102, parte 2).

Datos del transformador de subestación :

Conexión : Dyn5.  
 V(prim.)Kv : 10  
 V(secund).Kv : 0.44  
 Zcc : 5.2%  
 Xcc: 5%  
 Potencia(kVA): 160

Xts(Ohm) : 0.0605  
 Rts(Ohm) : 0.0173

Red Alejada de la generación :

Pot(cc)MVA : 160  
 ZQ1(Ohm) 0.68750  
 XQ1(Ohm) : 0.68409  
 RQ1(Ohm) : 0.06841

Reflejando en el lado de B.T :

XQ2(Ohm) : 0.0013244  
 RQ2(Ohm) : 0.0001324

Línea ( subestación-TFC)

Longitud(mt) : 25  
 xL(Ohm/Km): 0.106  
 rL(Ohm/Km): 0.426

XL(Ohm) : 0.00265  
 RL(Ohm) : 0.01065

**Cortocircuito trifasico en tablero general ( f1 ).**

$$X_{eq} = X_{ts} + X_{Q2} + X_L = 0.06447$$

$$R_{eq} = R_{ts} + R_{Q2} + R_L = 0.02806$$

$$Z_{eq}(\text{Ohm}) = 0.070318$$

Corriente de cortocircuito suministrada por la red .

$$I_{cc}(\text{red}) = 3.974 \quad \text{KA}$$

Contribución de motor asincrono al corto circuito.

$$\text{Si } I_{nm} > 0.01 * I_{cc}(\text{red})$$

$$I_{nm} = 152 \text{ A}$$

$$I_{cc}(\text{red}) = 3950 \text{ A.}$$

$$0.01 \cdot I_{cc}(\text{red}) = 39.5 \text{ A.}$$

Por lo tanto : el motor tiene influencia sobre el c.c

$$\begin{aligned} I_{an}(\text{A}) &= 930 \\ V_{nm}(\text{V}) &= 440 \\ X_m(\text{Ohm}) &= 0.27316 \\ R_m(\text{Ohm}) &= 0.08194889 \\ Z_m(\text{Ohm}) &= 0.28519052 \\ I_{cc}(\text{mot.}) &= 890.778445 \end{aligned}$$

$$I_{cc} = I_{cc}(\text{red}) + I_{cc}(\text{mot}) = 4.8648 \text{ KA}$$

**Cortocircuito trifasico en lado de B.T de subestación ( f2 ).**

Contribución de red:

$$\begin{aligned} X_{eq}(\text{Ohm}) &= 0.06063 \\ R_{eq}(\text{Ohm}) &= 0.01741 \\ Z_{eq}(\text{Ohm}) &= 0.06308 \end{aligned}$$

$$I_{cc}(\text{red}) = 4.4298 \text{ KA}$$

Contribución de motor :

$$\begin{aligned} X_{m2} = X_m + X_L &= 0.27581 \\ R_{m2} = R_m + R_L &= 0.09260 \\ Z_{m2}(\text{Ohm}) &= 0.29094 \end{aligned}$$

$$I_{cc}(\text{mot}) = 873.1686 \text{ A}$$

$$I_{cc} = I_{cc}(\text{red}) + I_{cc}(\text{mot}) = 5.3029 \text{ KA}$$

### c) Dimensionamiento de interruptores termomagnéticos de tablero general de fuerza, TF-C.

El dimensionamiento de los interruptores termomagnéticos se realizará con la siguiente consideración : NEMA AB1 , C.N.E ( Tom.V-5.2.8.9) , si el valor resultante no fuera comercial se tomará el valor inmediato superior.

$$I(I.T) = 1.25 \cdot I_n \tag{2.1}$$

- Interruptor termomagnético general : Con regulación térmica.

Regulación térmica :  $I_r = 163 \text{ A}$

Corriente Nominal : 3x225A

Voltaje Nominal : 440V

Ic.s( mínimo) = 6 KA

Interruptor termomagnético de electrobomba: Con regulación térmica y magnética.

Regulación térmica :  $I_r = 152 \text{ A}$

Regulación magnética :  $I_m = 6 I_r$

Corriente Nominal : 3x200A

Voltaje Nominal : 440V

Ic.s( mínimo) = 8 KA

- Transformador de B.T

#### **Lado 440V :**

Interruptor termomagnético Fijo

Corriente Nominal : 3x20A

Voltaje Nominal : 440V

Ic.s( mínimo) = 8 KA

#### **Lado 220V :**

Interruptor termomagnético Fijo

Corriente Nominal : 3x40A

Voltaje Nominal : 220V

Ic.s( mínimo) = 10 KA

Interruptor para tablero de control : Interruptor termomagnético Fijo

Corriente Nominal : 2x10A

Voltaje Nominal : 220V

Ic.u( mínimo) = 10 KA

- Interruptor para tablero de distribución TD-C

Interruptor termomagnético fijo

Corriente Nominal : 3x20A

Voltaje Nominal : 220V

Ic.s( mínimo) = 10 KA

- Interruptor termomagnético de bombeo cloro:

Corriente Nominal : 3x15A

Voltaje Nominal : 220V

Ic.s( mínimo) = 10 KA

- Interruptor de condensador de potencia : Ver sección k)
- Interruptor de reserva : Interruptor termomagnético Fijo

Corriente Nominal : 3x30A

Voltaje Nominal : 220V

Ic.s( mínimo) = 10 KA

#### **d) Dimencionamiento de interruptores termomagnéticos de tablero de distribución TD-C**

- Interruptor general :

Interruptor termomagnético fijo

Corriente Nominal : 3x20A

Voltaje Nominal : 220V

Ic.s( mínimo) = 10 KA

- Circuito de tomacorrientes :

Interruptor termomagnético-diferencial

Corriente Nominal : 2x20A

Voltaje Nominal : 220V

Ic.u( mínimo) = 10 KA

- Circuito de alumbrado :

Interruptor termomagnético-diferencial

Corriente Nominal : 2x15A

Voltaje Nominal : 220V

Ic.u( mínimo) = 10 KA

- Interruptor de reserva :

Interruptor termomagnético Fijo

Corriente Nominal : 2x15A

Voltaje Nominal : 220V

Ic.u( mínimo) = 10 KA

**e) Dimencionamiento de barras colectoras de TF-C, en función de la resistencia mecánica al corto circuito ( según la norma VDE 0103 ).**

- **Fórmulas utilizadas :**

$$I_s = (\chi \cdot \sqrt{2}) \cdot I_{cc} \cdot 3\phi \quad (2.2)$$

$\chi = 1.3$  , de la gráfica  $\chi$  vs  $R/X$  (Anexo A )

$$F_H = \mu_0 \cdot (I_s)^2 \cdot L / (2\pi \cdot a) ; N \quad (2.3)$$

$$\sigma_H = \beta \cdot F_H \cdot L / (8W) ; N/cm^3 \quad (2.4)$$

$$F_s = v_f \cdot \alpha \cdot F_H \quad (2.5)$$

$$v_f = 1, \text{ para } \sigma_H \geq 0.8\sigma_{02}' \quad (2.6)$$

$$v_f = 0.8\sigma_{02}' / \sigma_H, \text{ para } \sigma_H < 0.8\sigma_{02}' \quad (2.7)$$

Donde :

$I_s$ : corriente máxima de cortocircuito

$F_H$ : Fuerza de la corriente entre las fases, por las que circula igual corriente.

$\sigma_H$  : Esfuerzo de la fase

$F_S$  : Esfuerzo del soporte

$\alpha, \beta$ : factores de esfuerzo de la fase, en función de la forma del soporte y de la fijación.

$\sigma_{02}$ : Limite de fluencia mínima.

$\sigma_{02}'$ : Limite de fluencia máximo.

$v_f$ : Factor de esfuerzo del soporte, en función del esfuerzo resultante.

$W$ : Momento de resistencia para barras planas.

- **Disposición de barras :**

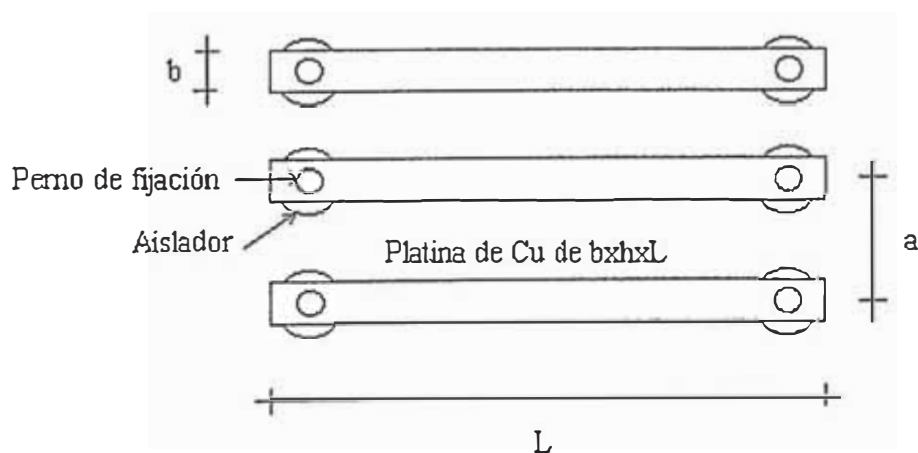


Fig. 2.2 Disposición de barras colectoras , vista de frente

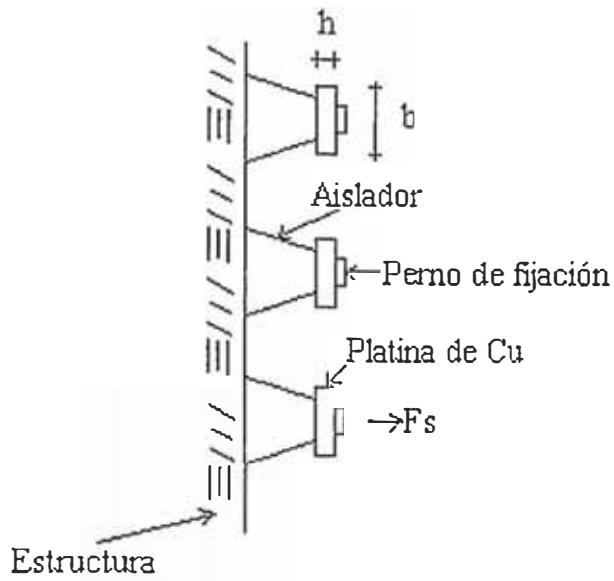


Fig. 2.3 Disposición de barras colectoras , vista de perfil

### • Cálculo

$$ICC(3\phi)KA = 4.865$$

$$x = 1.3$$

$$I_s (KA) = 8.944$$

$$L \text{ (cm)} = 65$$

$$b \text{ (cm)} = 3$$

$$h \text{ (cm)} = 0.3$$

$$a \text{ (cm)} = 9$$

$$W \text{ (cm}^3\text{)} = 0.045$$

$$FH \text{ (N)} = 115.554$$

$$\sigma_H \text{ (N/cm}^2\text{)} = 20863.83$$

De Anexo A :

$$\sigma_2 \text{ (N/cm}^2\text{)} = 25000$$

$$\sigma_2' \text{ (N/cm}^2\text{)} = 36000$$

Se cumple :

$$\sigma_H < 0.8\sigma_2'$$

Entonces :

$$v_f = 1.380$$

$$F_s (N) = 79.754$$

Sé consideran conductores resistentes a cortocircuito a aquellos que cumplen

$$\sigma_H \leq 1.5\sigma_0 \quad (2.8)$$

Por lo tanto la platina de Cu de 30x3x650mm<sup>3</sup> tiene una capacidad de 337A (DIN 436771 ) y soporta los esfuerzos electrodinámicos de cortocircuito.

#### **Aislador :**

Los aisladores serán del tipo 0.75/500 ( para 0.75KV , 500Kg. ) , uso interior.

#### **f ) Arrancador de electrobomba**

Para el arranque de la electrobomba se tiene 02 opciones, arrancador magnético ó arrancador estático, para una electrobomba de 125 HP-440V-60HZ el motor eléctrico no resulta ser pesado por lo tanto se puede considerar un arrancador estrella / triángulo ya que el arranque por autotransformador resulta más caro y no es necesario un torque inicial de arranque alto. El arrancador estático sería la segunda opción a analizar.

#### **Comparación de características para el arranque :**

Tabla 2.2

	Arrancador estrella/triángulo	Arrancador estático
Corriente de arran. max.	3 I <sub>n</sub>	regulable 2 I <sub>n</sub> -4 I <sub>n</sub>
% de par de arran. Directo	33%	regulable
Escalones de arranque	2	continuo sin escalones



Conexión al motor	6	3
Protecciones	relé térmico para sobrecarga	electrónica por : -sobrecarga -desbalance de fases. -máxima y mínima tensión -secuencia de fases.
Parada	libre	regulada/libre
Teclado para regulación	no	si
Display de medición y regulación de parámetros.	no	si

### Comparación de curvas :

#### Corriente de arranque Vs S

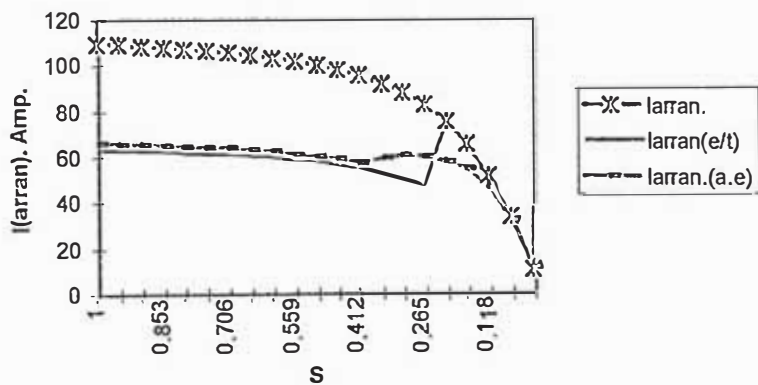


Fig. 2.4 Curvas corriente de arranque vs S (deslizamiento)

I arran : Corriente de arranque directo

I arran(a/t): Corriente de arranque con arrancador estrella triángulo.

I arran(a.e): Corriente de arranque con Arrancador estático.

S: Deslizamiento.

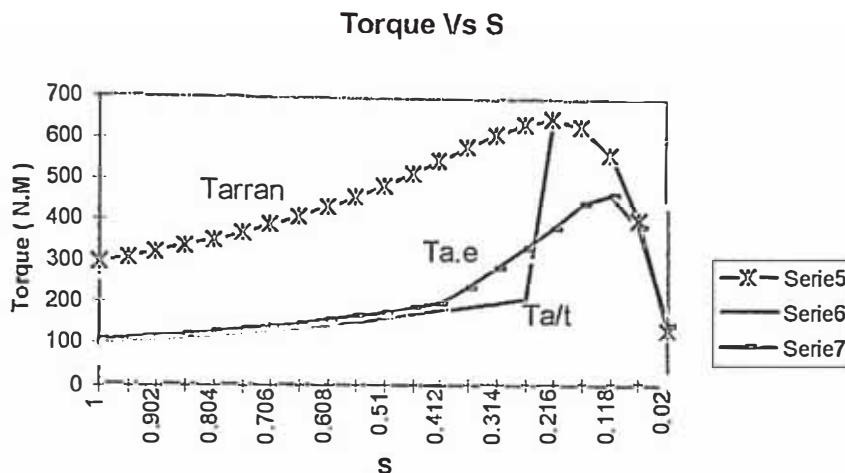


Fig. 2.5 Curvas torque de arranque vs S (deslizamiento)

Ta.e: Torque con arrancador estático.

Te/t: Torque con arrancador estrella /triángulo.

Tarran.: Torque con arranque directo.

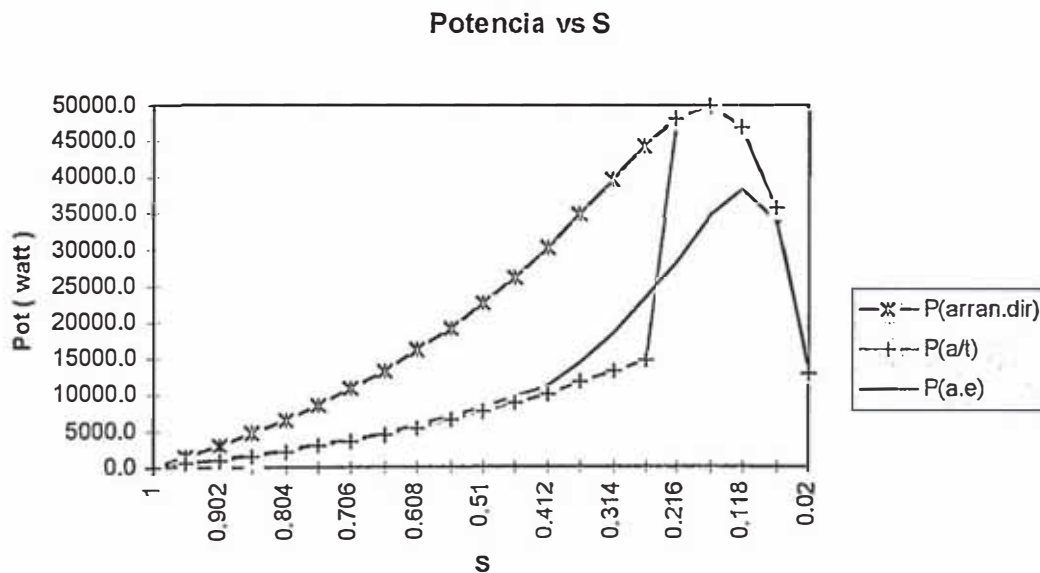


Fig. 2.6 Curvas potencia de arranque vs S (deslizamiento)

P(arran.dir) : potencia con arranque directo.

P(a/t) : potencia con arranque estrella triángulo

P(a.e) : potencia con arrancador estático.

### **Conclusiones para selección de arrancador :**

Las características de regulación de parámetros del arrancador estático nos aseguran una gran flexibilidad. Las curvas suaves de funcionamiento de corriente de arranque, torque de arranque y potencia de arranque nos aseguran una mayor duración del equipamiento, el ahorro de potencia en el arranque por el control de la corriente de arranque , y una fácil conexión.

Display para visualización de parámetros, y medición básica. Mayor protección para el motor eléctrico.

El costo inicial del arrancador estrella/triángulo es menor, pero con las limitaciones mencionadas, la diferencia de costos es recuperable en el tiempo incluyendo un menor mantenimiento.

Por lo tanto, para el arranque de la electrobomba se utilizará un arrancador estático.

#### **g ) Selección de arrancador estático según valores IEC 72 para electrobomba de 125HP-440V-60HZ**

- Corriente nomina ( A ) : 156

- Tensión nominal ( V ) : 440

Potencia (KW) : 100

- Corriente máxima admisible en el arranque(A),( t = 5seg.) : 780

Frecuencia : 60HZ

#### **h) Características del arrancado estático para electrobomba de 125HP-440V-60HZ**

- Corriente máxima de arranque :  $2I_n - 5I_n$  (Regulable)

- tiempo de aceleración : Regulable (2 - 20 seg)
- tiempo de desaceleración : Regulable (2 - 15 seg)
- Torque de arranque inicial en %torque arranque directo inicial : Regulable (30% - 90%)

- Protección por sobrecarga : Regulable

Protección por Desbalance de fase : Fijo / regulable

Protección por Máxima y mínima tensión : Fijo / regulable

Protección por perdida de una fase

Protección por secuencia de fases

Protección por baja carga : Regulable ( 0-90%)In

- Memoria Térmica :Con tensión de control el equipo almacenara la imagen térmica de las sobrecargas existentes.

Pulsador de reset de fallas

- Salida relé interno (termino de arranque/parada) : 1 N.C + 1 N.A

Si el arrancador estático no tuviera alguna de las protecciones mencionadas se deberá instalar un relé de protección exterior que realice la protección faltante, si el arrancador no contará con display de medición incorporado se instalara un equipo de medición( tensión y corriente.)

#### **i) Calibración de parámetros de arrancador estático**

Para la tensión inicial en el arranque hay que calibrar el torque inicial de arranque

como un % del torque de arranque inicial directo (  $T_{o(a.d)}$ ).

$$T_{o(a.d)} / T_{o(e.t)} = ( V_n / V_{arr(a.e)} )^2 \quad (2.9)$$

Como el motor eléctrico no tiene una alta inercia y su trabajo es de bombeo de agua el torque inicial de carga es bajo. Por lo tanto una buena tensión de arranque puede ser:

$$V_{arr(a.e)} = V_n / \sqrt{3} \text{ (referencia de arranque } Y/\Delta \text{ )} \quad (2.10)$$

de la ecuación (2.9) :

$$T_{o(a.e)} = 33\% T_{o(a.d)} \quad (2.11)$$

Corriente máxima en arranque :  $I_{max} = 3 I_n$

Corriente de sobrecarga regulada a :  $I_n = 150.2 \text{ Amp.}$

El tiempo para desconexión del motor lo determina la curva tiempo-sobre carga del arrancador.

Tiempo de aceleración ( arranque) = 8 seg. (afinar en la puesta en marcha).

Tiempo de desaceleración = Se regulan en las pruebas de funcionamiento del sistema ya que depende de la instalación hidráulica (tiempo necesario para que el golpe de ariete sea mínimo).

Desbalance de fases : no mayor de 10%

Máxima y mínima tensión :  $V_{max} \leq 1.1 V_n$  ,  $V_{min} \geq 0.85 V_n$

#### j) **Contactador BY-PASS para arrancador estático**

Luego que el arrancador estático realizó el arranque de la electrobomba, no es necesario que soporte el paso de la corriente nominal en forma permanente, por lo tanto se utiliza un contactor para cortocircuitar el arrancador estático, en consecuencia se alivia su funcionamiento en régimen nominal.

El dimensionamiento del contactor By-Pass se realiza con la corriente nominal del motor eléctrico ( $I_n=151.1 \text{ A}$ ) :

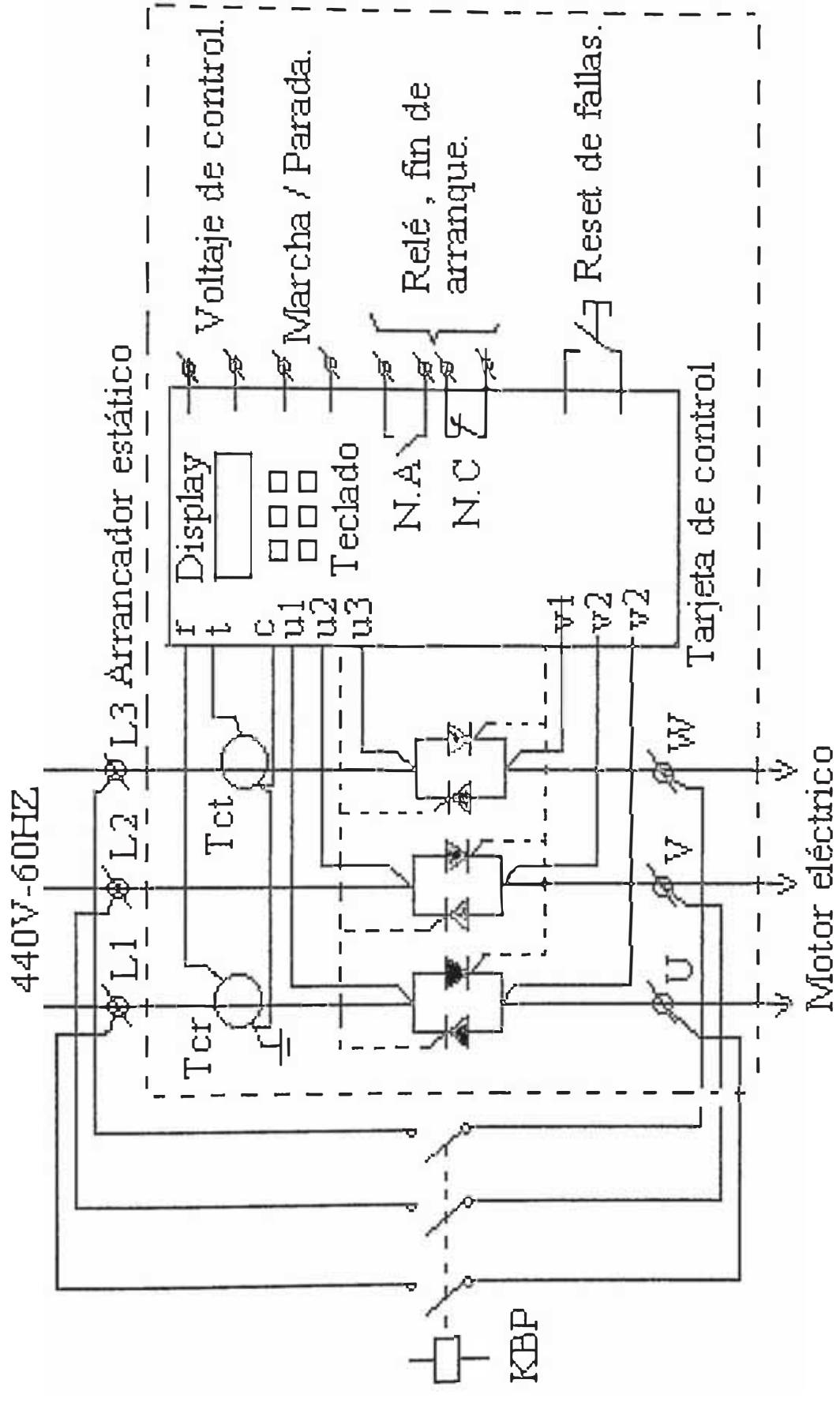


Fig.2.7 Esquema de conexión de arrancador estático,contactor BY-PASS.

- Contactor de 160 A.
- Categoría AC3 (IEC 947 - 4)

Tensión de operación : 500V

- Bobina : 220V - 60HZ

Potencia de operación : 680 VA (IEC 947)

### k) Diseño del sistema de compensación reactiva

El dimensionamiento de la protección, contactor y los conductores eléctricos para el sistema de compensación tiene características especiales, debido a la corriente que circula en el momento de conectar el condensador a la red, la cual depende de la fase inicial de la tensión en el momento de su conexión, los aumentos de tensión y de frecuencia, así como el contenido de oscilaciones armónicas de la tensión o de la intensidad, representa una carga adicional para el condensador.

Para el emplazamiento, la conexión y las medidas de protección especiales han de observarse las normas VDE 5.6.3.3.C ó CNE ( 5.6.3.3.a, 5.6.3.3b, 5.6.3.3c)

$$Q_c = P_m (\tan \phi_o - \tan \phi_f) / n \quad (2.12)$$

$$I_c = Q_c / ([\sqrt{3}].V_n) \quad (2.13)$$

$$V_m / V_n \leq 1.1 \quad (2.14)$$

$Q_c$ : Potencia reactiva del condensador

$I_c$ : Corriente del condensador

$V_m$ : Tensión máxima de operación

$V_n$ : Tensión nominal del condensador

$P_m$ : Potencia mecánica de la electrobomba.

$n$  : Eficiencia de la electrobomba.

$\phi_o$  :Angulo del f.p inicial.

$\phi_f$  : Angulo del f.p final.

Reemplazando datos de tabla 2.1 , utilizando e.c 2.12 y corrigiendo el f.p a 0.98 tenemos:

$Q_c = 33.9$  KVAR, seleccionamos el inmediato inferior. Por lo tanto las características del condensador son:

- Potencia reactiva: 33 KVAR

Tensión nominal : 440V AC

- Frecuencia: 60 HZ

**Tensión máxima de operación : 485V AC**

de e.c 2.13 :  $I_c = 43.35$  A (corriente del condensador)

### **Dimencionamiento de Interruptor termomagnético**

$$I (I.T) = 1.7 I_c = 73.7 \text{ A}$$

Características del interruptor termomagnetico:

- Corriente nominal : 3x80A

Capacidad de ruptura simet. : 8 KA

- Tensión nominal : 440 VAC

### **Dimencionamiento de Contactor**

$$I (\text{Cont.}) = 1.35 I_c = 58.5 \text{ A}$$



Características del contactor :

- Corriente nominal en cat. AC3 : 60 A

Tensión nominal : 440V

- Frecuencia : 60HZ

Tensión de bobina : 220V

Conductor para conexión de fuerza :  $I(\text{conduc.}) = 1.35 I_c = 58.52A$

**Características del conductor**

- 3x16mm<sup>2</sup> THW + 1x10mm<sup>2</sup>.

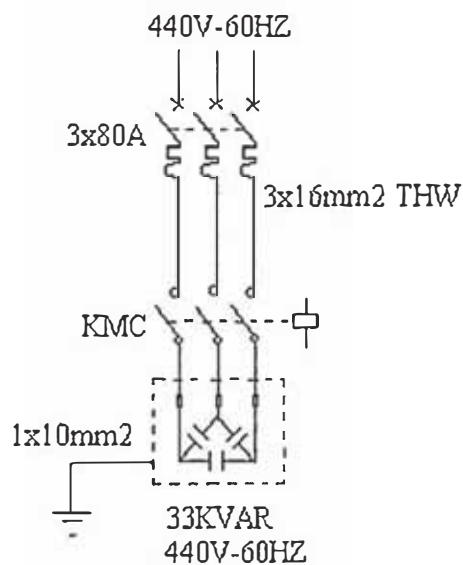


Fig. 2.8 Circuito de compensación reactiva.

**m) Medición de Parámetros Eléctricos.**

$I_n = 163.13 A$  ( de sección c ).

- Transformador de corriente : de 200/5A clase 1

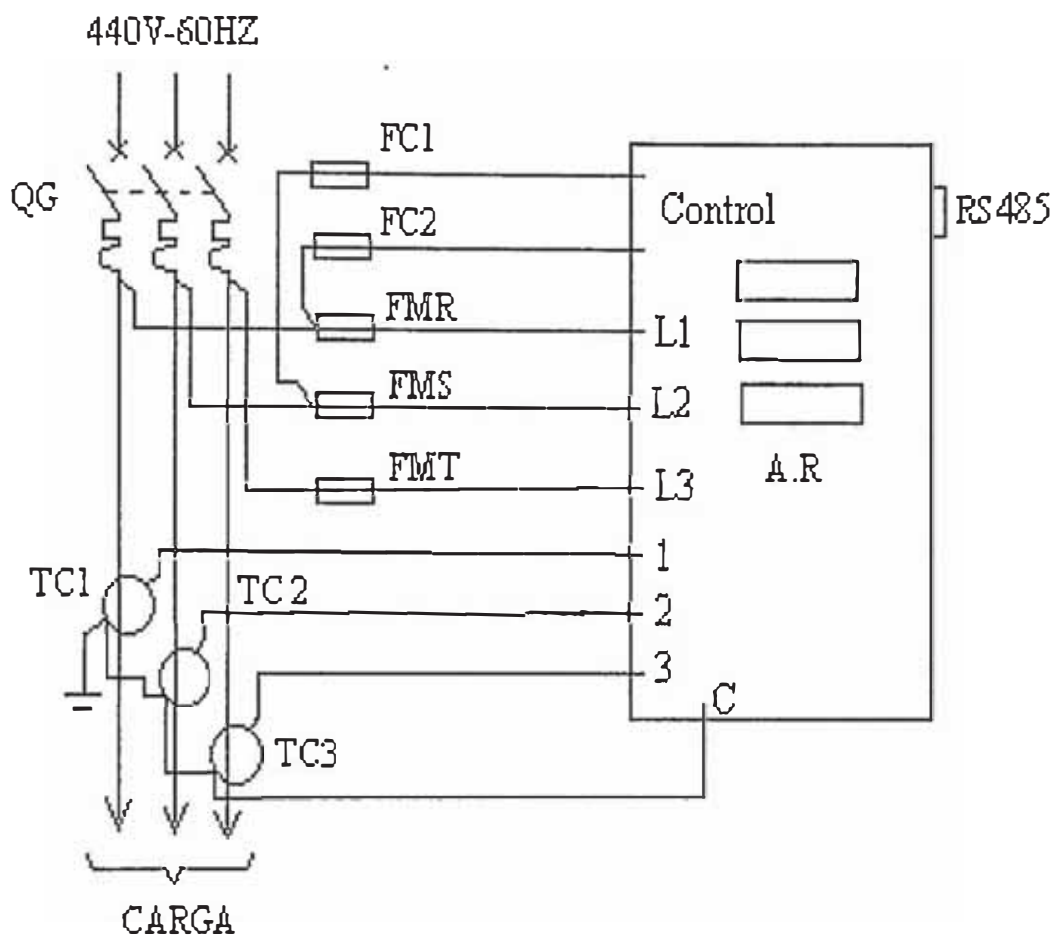


Fig. 2.9 Esquema eléctrico de medición

- QG : Interruptor termomagnético general
- TCR, TCS, TCT : Transformador de corriente 200/5A clase 1.0
- FMR, FMS, FMT : Fusible de medición (2 amp.)
- FC1, FC2 : Fusible de control (2 amp.)
- A.R : Analizador de redes

- Analizador de redes, con puerto de comunicación RS 485, con alimentación 220-460V, con variables programadas:

- Voltajes de línea

- Corrientes de línea

- Factor de potencia

- Potencia reactiva

- Potencia activa

- Energía activa

- Energía reactiva

- Fusibles DZ de 2 A , para protección voltimétrica

- Fusible DZ de 2A , para control de analizador de redes

#### **n) Circuito de Control de tablero TF-C**

Cada tablero de fuerza tiene un circuito de control independiente de la automatización entre pozos y reservorios, debido a que el circuito es sencillo y la secuencia de funcionamiento de los equipos no cambia, el control será de tipo discreto con contactos auxiliares de los equipos de fuerza , contactor auxiliar y temporizador, el circuito es el que se muestra en la fig 2.10

#### **Funcionamiento:**

El interruptor horario (IH) permitirá la programación horaria en forma externa.

El relé de retardo de arranque(KT) es un temporizador (1-3 min.) el cual retarda el funcionamiento del control, para el cierre del interruptor general.

- Los selectores S1, S2 son para el funcionamiento manual ó automático de electrobomba de agua ó bomba de cloro respectivamente.

Contactor auxiliar KA cumple la función de dar la señal de funcionamiento al arrancador estático.

Contactor auxiliar KA1 cumple la función de proteger el contacto del relé interno del arrancador estático ya que la bobina del contactor By-pass en el instante de operación consume 680 VA y para una tensión de control de 220V consume una corriente de 3.1 Amp la cual puede dañar el contacto del relé interno del arrancador estático el cual generalmente soporta 5 amp. y el contacto de un contactor auxiliar soporta 10 Amp.

- El contactor By-pass (KBP) se encarga de aliviar el funcionamiento del arrancador estático después del arranque. El temporizador (0-10 seg.) KTC se encarga de retardar la KMC es el contactor para conexión del condensador, un contacto auxiliar de este, realiza el funcionamiento automático de la bomba de cloro.

- S11 es el pulsador de parada de electrobomba

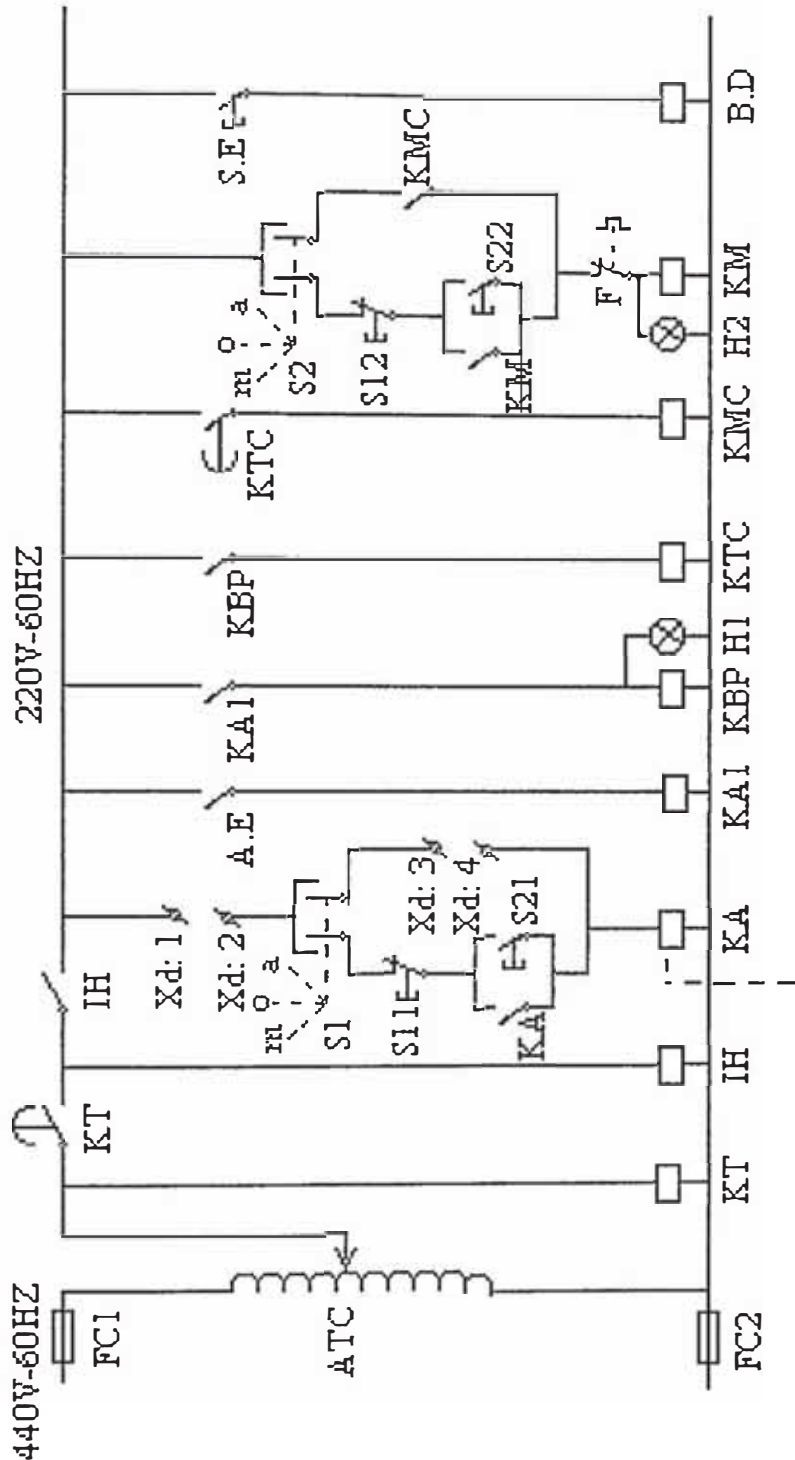
S21 es el pulsador de arranque de electrobomba

- S12 es el pulsador de parada de bomba de cloro

S22 es el Pulsador de arranque de bomba de cloro

- F es el contacto auxiliar del relé térmico (7-11A) del arrancador directo para la bomba de cloro.

- conexión del condensador asegurando el funcionamiento normal del motor eléctrico.



VA AL A.E (Marcha / Parada)

Fig. 2.10 Circuito de control de tablero TF-C.

- IH : Interruptor horario.
- KT : Relé de retardo de arranque.
- KBP : Contactor BY - PASS.
- A.E : Contactor estático.
- KTC : Temporizador de condensador.
- S21, S22, S11, S12 : Pulsadores .
- KA1 : Contactor auxiliar.
- KM : Contactor para de bomba de cloro.
- H1, H2 : Lampara de funcionamiento normal .
- B.D : Bobina de disparo de interruptor general.
- S.E : Pulsador para desconexión general.
- KA : Contactor auxiliar para mando de arrancador estático.
- S1, S2 : Selector para funcionamiento manual o automático.
- KMC : Contactor de condensador.
- F : Contacto auxiliar de relé térmico para bomba de cloro.

- KM es el Contactor de 12 amp. (AC3) del arrancador directo para bomba de cloro.
- Xd : 1 , Xd : 2 , Bornes de distancia para bloqueo de electrobomba (viene de tablero de control automático).
- Xd : 3 , Xd : 4 , Bornes de distancia para arranque por reservorio (Viene de tablero de control automático).

### 2.2.3 Caseta de bombeo de pozo P-404

Esta caseta de pozo tiene el mismo diseño civil , hidraulico y requerimiento de potencia que la caseta de pozo P-2 por lo tanto el diseño eléctrico de fuerza es el mismo.

### 2.2.4 Caseta de rebombeo de reservorio R4

#### a) Cálculo eléctrico

- **Estudio de carga**

Comprende cargas en 220V :

$$P.I(\text{alumb.} + \text{tomac.}) = 5240W$$

$$M.D(\text{alumb.} + \text{tomac.}) = 4192W \text{ ( f.d=0.8)}$$

Debido a que el reservorio se encuentra sobre un cerro, habra que considerar una lampara de balizaje intermitente:

$$M.D(\text{ balizaje}) = P.I (\text{ balizaje }) = 150W$$

#### **Equipos de control**

$$S(\text{control}) = 1000VA$$

#### **Electrobombas de agua**

$$n=84 \%$$

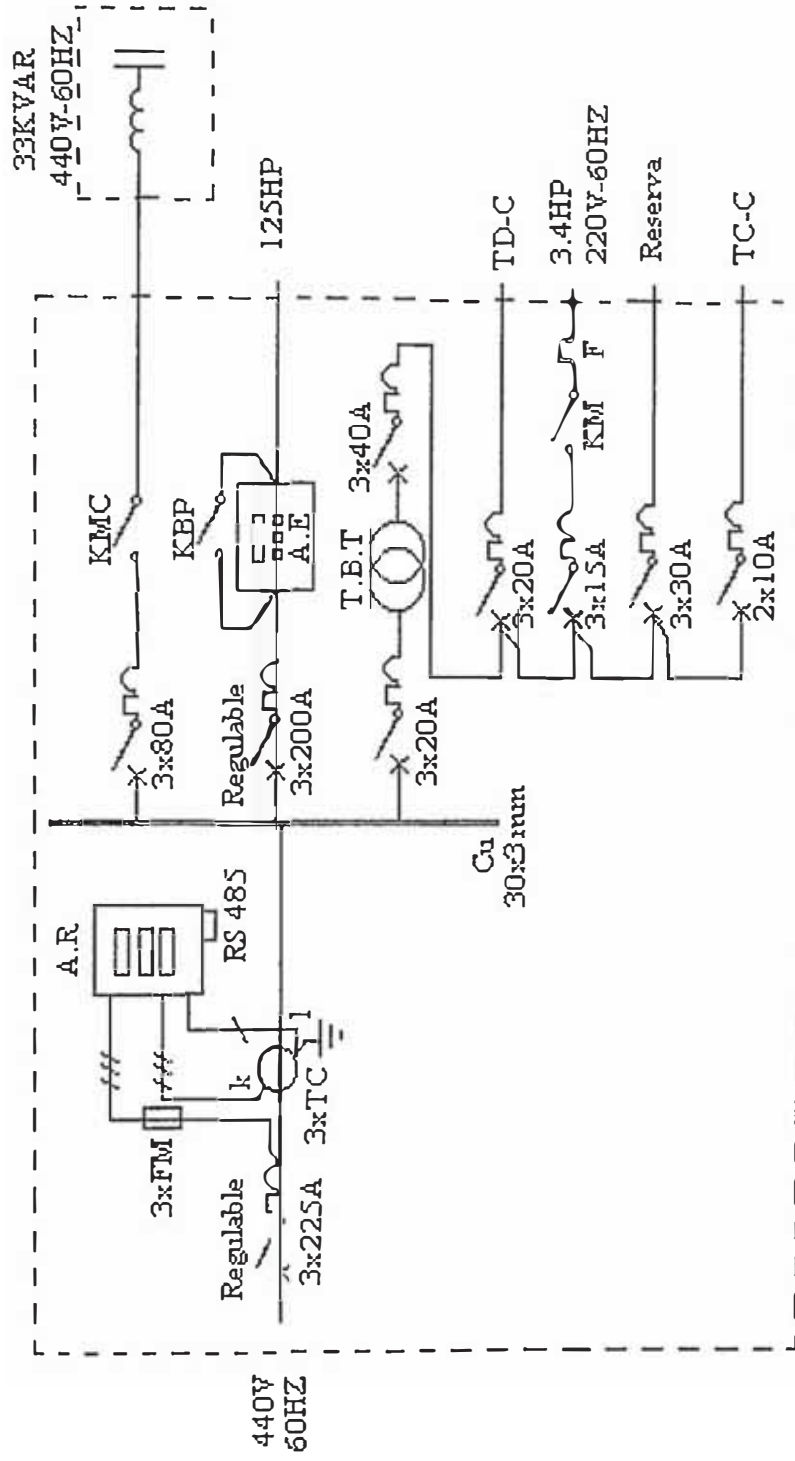


Fig 2.11 circuito unifilar de fuerza TF-C

FM : fusible de medición de 2A.

A.R : Analizador de redes

TC : Transformador de corriente 200/5A.

A.E : Arrancador estático

KMC : Contactor para conexión de condensador.

T.B.T : Transformador de baja tensión 440/220V AC-10KVA-60HZ

KBP : Contactor by-pass.

$$f.p = 0.85$$

$$P = 2 \times 12 \text{ HP}$$

$$M.D = P.I = 2 \times 10657.15 \text{ KW}$$

$$S = 2 \times 12537.82 \text{ VA}$$

$$S(\text{total}) = 1.1 \times 30417.64 \text{ VA} = 33459.4 \text{ VA}$$

#### ◦ **Subestación de distribución**

En vista de que la empresa distribuidora de energía (EDELNOR) dará el servicio de suministro en 10KV, es necesario incluir en el proyecto la subestación aérea biposte, la cual será 50KVA-10KV/0.230KV-60HZ

#### ◦ **Cálculo de alimentadores**

Según CNE ( Tomo V ),  $\Delta V(\text{Alimentador}) \leq 2.5\%$  y  $\Delta V(\text{Max}) = < 4\%$

#### **Alimentador principal :**

$$I_n = 88 \text{ A}$$

$$L = 18 \text{ mt}$$

3x35mm<sup>2</sup> THW + 1x35mm<sup>2</sup> -  $\phi$ 50mm. PVC-SAP.

#### **Alimentador de electrobomba**

$$I_{nm} = 33 \text{ A}$$

$$L = 15 \text{ mt}$$

3x10mm<sup>2</sup> THW + 1x10mm<sup>2</sup> -  $\phi$ 25mm. PVC-SAP

#### **Alimentador de tablero de distribución**

$$I_n = 11.4 \text{ A}$$

$$L = 10 \text{ mt}$$

3x6mm<sup>2</sup> THW + 1x4mm<sup>2</sup> -  $\phi$ 20mm<sup>2</sup>. PVC-SAP



**Alimentador de tablero de control:**

$$I_n(\text{cont.}) = 4.55\text{A}$$

$$L = 8 \text{ mt}$$

2x4mm<sup>2</sup> THW + 1x4mm<sup>2</sup> -  $\phi$ 20mm. PVC-SAP

- **Condensador de potencia**

Ver sección j .

- **Circuitos derivados de alumbrado y tomacorrientes**

Se utilizara conductor de 2x4mm<sup>2</sup> + 1x4mm<sup>2</sup>-  $\phi$ 20mm.PVC

### b) Cálculo de corriente de cortocircuito simétrica

(Según norma VDE 0102, parte 2)

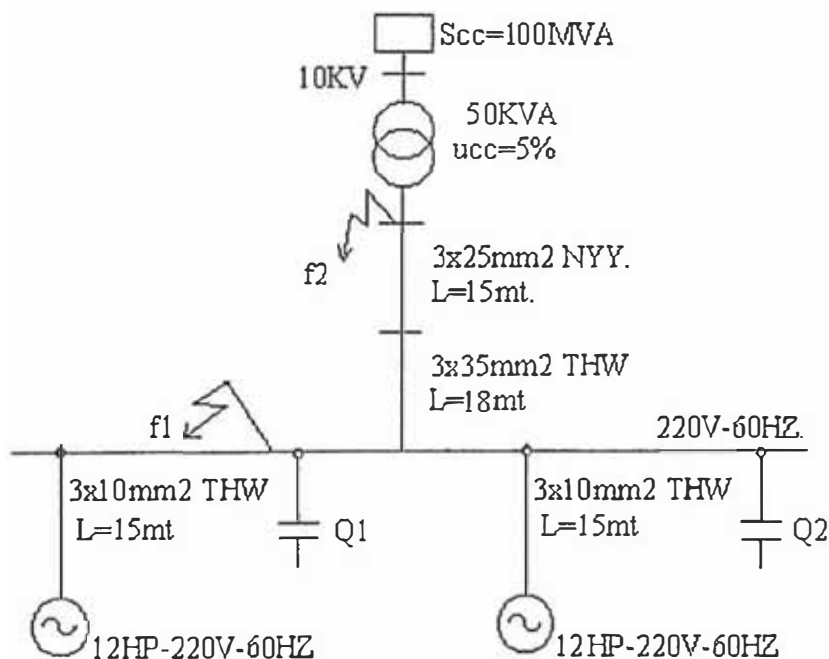


Fig.2.10 Esquema eléctrico de tablero TF-A.

Datos del transformador de subestación

Conexión : Dyn5.

V(prim.)Kv : 10

V(secund).Kv : 0.22

Zcc : 5.0%

Xcc: 5%

Potencia(kVA): 50

Xts(Ohm) : 0.0484

Rts(Ohm) : 0.0000

Red Alejada de la generación :

Pot(cc)MVA : 120

ZQ1(Ohm) 0.91667

XQ1(Ohm) : 0.91212

RQ1(Ohm) : 0.09121

Reflejando en el lado de B.T :

XQ2(Ohm) : 0.0004415

RQ2(Ohm) : 0.0000441

Línea ( subestación-TGF1):

Longitud(mt) : 30

xL(Ohm/Km): 0.136

rL(Ohm/Km): 0.85

XL(Ohm) : 0.00408

RL(Ohm) : 0.0255

#### Cortocircuito trifásico en tablero general.

$X_{eq} = X_{ts} + X_{Q2} + X_L = 0.05292$

$R_{eq} = R_{ts} + R_{Q2} + R_L = 0.02554$

$Z_{eq}(\text{Ohm}) = 0.05876381$

Corriente de cortocircuito suministrada por la red .

$I_{cc}(\text{red}) = 2.378 \text{ KA}$

Contribución de motor asíncrono al corto circuito.

Si  $\sum I_{nm} > 0.01 * I_{cc}(\text{red})$

$I_{nm} = 33 \text{ A}$

$I_{cc}(\text{red}) = 3950 \text{ A}$

$0.01 * I_{cc}(\text{red}) = 23.70 \text{ A}$

Por lo tanto : el motor tiene influencia sobre el c.c

$I_{an}(\text{A}) = 240$

$V_{nm}(\text{V}) = 220$

$X_m(\text{Ohm}) = 0.52925$

$R_m(\text{Ohm}) = 0.15877598$

$Z_m(\text{Ohm}) = 0.55255664$

$$I_{cc}(\text{mot.}) = 229.878308$$

$$I_{cc} = I_{cc}(\text{red}) + I_{cc}(\text{mot}) = 2.6076 \text{ KA}$$

**Cortocircuito trifásico en lado de B.T de subestación.**

Contribución de red:

$$X_{eq} (\text{Ohm}) = 0.04844$$

$$R_{eq} (\text{Ohm}) = 0.00004$$

$$Z_{eq} (\text{Ohm}) = 0.04844$$

$$I_{cc}(\text{red}) = 2.8842 \text{ KA}$$

Contribución de motor :

$$X_{m2} = X_m + X_L = 0.53333$$

$$R_{m2} = R_m + R_L = 0.18428$$

$$Z_{m2} (\text{Ohm}) = 0.56427$$

$$I_{cc}(\text{mot}) = 225.1059 \text{ A}$$

$$I_{cc} = I_{cc}(\text{red}) + I_{cc}(\text{mot}) = 3.1093 \text{ KA}$$

**c ) Dimensionamiento de interruptores termomagnéticos de tablero general de fuerza TF-A.**

Análogamente se utiliza NEMA AB1 y C.N.E ( Tom.V-5.2.8.9) . Si el valor resultante no fuera comercial se tomara el valor inmediato superior.

**Interruptor termomagnético general**

Con regulación térmica.

Corriente Nominal : 3x120A

Voltaje Nominal : 440V

$I_{c.s}(\text{mínimo}) = 10 \text{ KA}$

**Interruptor termomagnético de electrobomba**

Con regulación térmica y magnética.

Regulación térmica :  $I_r = 32 \text{ A}$

Regulación magnética :  $I_m = 6 I_r$

Corriente Nominal : 3x40A

Voltaje Nominal : 440V

$I_{c.s}(\text{mínimo}) = 10 \text{ KA}$

- **Interruptor para tablero de control**

Interruptor termomagnético Fijo

Corriente Nominal : 2x10A

Voltaje Nominal : 220V

$I_{c.u}(\text{mínimo}) = 10 \text{ KA}$ .

- **Interruptor para tablero de distribución TD-A**

Interruptor termomagnético Fijo

Corriente Nominal : 3x20A.

Voltaje Nominal : 220V

$I_{c.s}(\text{mínimo}) = 10 \text{ KA}$

- **Interruptor de condensador de potencia**

Ver sección j)

- **Interruptor de reserva**

Interruptor termomagnético Fijo

Corriente Nominal : 3x30A

Voltaje Nominal : 220V

$I_{c.s}(\text{mínimo}) = 10 \text{ KA}$

**d) Dimencionamiento de interruptores termomagnéticos de tablero de distribución TD-A:**

- **Interruptor general**

Interruptor termomagnético fijo

Corriente Nominal : 3x20A

Voltaje Nominal : 220V

Ic.s( mínimo) = 10 KA

- **Circuito de tomacorrientes**

Interruptor termomagnético-diferencial

Corriente Nominal : 2x20A

Voltaje Nominal : 220V

Ic.u( mínimo) = 10 KA

- **Circuito de alumbrado**

Interruptor termomagnético-diferencial

Corriente Nominal : 2x15A

Voltaje Nominal : 220V

Ic.u( mínimo) = 10 KA

- **Interruptor de reserva**

Interruptor termomagnético Fijo.

Corriente Nominal : 2x15A.

Voltaje Nominal : 220V.

Ic.u( mínimo) = 10 KA .

e) **Dimencionamiento de barras colectoras de TF-A, en función de la resistencia mecánica al corto circuito ( según la norma VDE 0103 ).**

Análogamente al caso anterior las barras colectoras serán de platina de Cu de 30x3x1200mm<sup>3</sup>, con una capacidad para 337A (DIN 436771 ) y soporta los esfuerzos electrodinámicos de cortocircuito.

### **Aislador**

Los aisladores serán del tipo 0.75/500 ( para 0.75KV , 500Kg. ) , uso interior

#### • **Arrancador de electrobomba**

Análogamente cada electrobomba tendrá un arrancador estático para su arranque.

#### **f) Selección de arrancador estático según valores IEC 72 para electrobomba de 12HP-220V-60HZ:**

- Corriente nominal ( A ) : 33
- Tensión nominal ( V ) : 220
- Potencia (KW) : 10.7
- Corriente máxima admisible en el arranque(A),( t = 5seg.) : 160

Frecuencia : 60HZ

#### **g) Características del arrancado estático para electrobomba de 12HP-220V-60HZ**

Corriente máxima de arranque : 2In - 5In (Regulable)

- tiempo de aceleración : Regulable (2 - 20 seg)
- tiempo de desaceleración: Regulable (2 - 15 seg)
- Torque de arranque inicial en % torque arranque directo inicial : Regulable (30% - 90%)
- Protección por sobrecarga : Regulable

Protección por Desbalance de fase : Fijo / regulable

Protección por Máxima y mínima tensión : Fijo / regulable

Protección por pérdida de una fase

- Protección por baja carga : Regulable ( 0-90%) $I_n$
- Protección por secuencia de fases
- Memoria Térmica : Con tensión de control el equipo almacenara la imagen térmica de las sobrecargas existentes
- Pulsador de reset
- Salida relé interno (termino de arranque/parada): 1 N.C + 1 N.A

Si el arrancador estático no tuviera alguna de las protecciones mencionadas se deberá instalar un relé de protección exterior que realice la protección faltante, si el arrancador no contara con display de medición incorporado se instalará un equipo de medición( tensión y corriente)

#### **h) Calibración de parámetros de arrancador estático**

De la e.c 2.9 :

Torque inicial de arranque :  $T_{o(a.e)} = 33\%T_{o(a.ñ)}$

Corriente máxima en arranque :  $I_{max} = 3 I_n$

Corriente de sobrecarga regulada a :  $I_n = 32.2 A$

El tiempo para desconexión del motor lo determina la curva tiempo-sobre carga del arrancador.

Tiempo de aceleración ( arranque) = 5 seg. (afinar en la puesta en marcha)

Tiempo de desaceleración = Se regulan en las pruebas de funcionamiento del sistema ya que depende de la instalación hidráulica (tiempo necesario para que el golpe de ariete sea mínimo).

Desbalance de fases : no mayor del 10%.

Máxima y mínima tensión :  $V_{max} \leq 1.1V_n$  ,  $V_{min} \geq 0.85V_n$ .

#### **i) Contactor BY-PASS para arrancador de estático**

Análogamente el dimensionamiento del contactor By-Pass se realiza con la corriente nominal del motor eléctrico ( $I_n=32.2$  A):

Contactor de 40 A.

- Categoría AC3 (IEC 947 - 4)
- Tensión de operación : 230V-60HZ
- Bobina : 220V - 60HZ

#### **j) Diseño de sistema de compensación reactiva para electrobomba de 12HP-220V-60HZ**

El dimensionamiento de la protección, contactor y los conductores eléctricos para el sistema de compensación será similar al caso anterior.

Para el emplazamiento, la conexión y las medidas de protección especiales han de observarse las normas VDE 5.6.3.3.C ó CNE ( 5.6.3.3.a, 5.6.3.3b, 5.6.3.3c)

Remplazando datos de tabla 2.1 , utilizando e.c 2.12 y corrigiendo el f.p a 0.98 tenemos:

$Q_c = 4.4$  KVAR., seleccionamos el inmediato inferior; las características del condensador son:

- Potencia reactiva: 4.4 KVAR



- Tensión nominal : 220V AC.

Frecuencia: 60 HZ

- Tensión máxima de operación : 250V AC

de e.c 2.13 :  $I_c = 11.55 \text{ A}$  (corriente del condensador)

Dimencionamiento de Interruptor termomagnético :  $I (I.T) = 1.7 I_c = 19.63 \text{ A}$

Características del interruptor termomagnético:

- Corriente nominal : 3x20A
- Capacidad de ruptura simet. : 10 KA
- Tensión nominal : 220 VAC

Dimencionamiento de Contactor :  $I (Cont.) = 1.35 I_c = 15.59 \text{ A}$

Características del contactor :

- Corriente nominal en cat. AC3 : 20 A

Tensión nominal : 220V

- Frecuencia : 60HZ

Tensión de bobina : 220V

Conductor para conexión de fuerza :  $I (conduc.) = 1.35 I_c = 15.59 \text{ A}$

Características del conductor :

3x6mm<sup>2</sup> THW + 1x4mm<sup>2</sup>.

### **k) Medición de Parámetros Eléctricos**

$I_n = 88 \text{ A}$

Transformador de corriente : de 150/5A clase 1

- Analizador de redes, con puerto de comunicación RS 485, con alimentación 220-460V, con variables programadas:

- Voltajes de línea
- Corrientes de línea
- Factor de potencia
- Potencia reactiva
- Potencia activa
- Energía activa
- Energía reactiva
- Fusibles DZ de 2 A , para protección voltimétrica
- Fusible DZ de 2amp. para control de analizador de redes.

#### **m) Circuito de control de tablero TF-A**

##### **Funcionamiento:**

El interruptor horario (IH) permitirá la programación horaria en forma externa

- El relé de retardo de arranque(KT) es un temporizador (1-3 min.) el cual retarda el funcionamiento del control, para el cierre del interruptor general

El selectores S1 es para el funcionamiento manual ó automático de electrobombas

- Contactor auxiliar KA1, KA2 cumplen la función de dar la señal de funcionamiento a cada arrancador estático

El contactor By-pass ( KBP1,KBP2 ) se encarga de aliviar el funcionamiento de cada arrancador estático después del arranque

- El temporizador (0-10 seg.) KTC1,KTC2 se encarga de retardar la conexión del condensador asegurando el funcionamiento normal del motor eléctrico
- KMC1, KMC2 son los contactores para conexión de condensadores

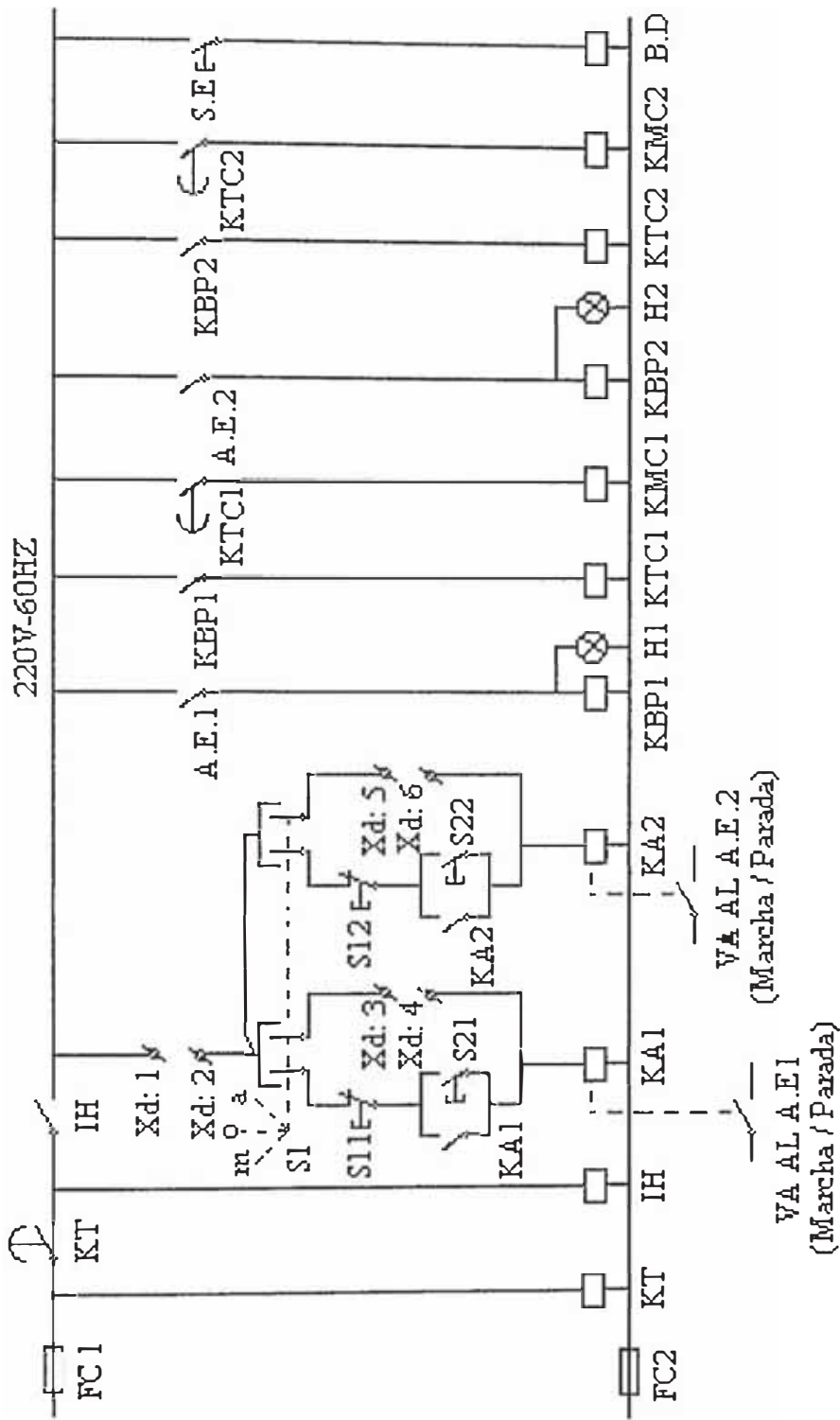


Fig. 2.13 Circuito de control de tablero TF-A.

IH : Interruptor horario.

KT : Relé de retardo de arranque.

S1 : Selector para funcionamiento manual o automático. KTC1, KTC2 : Temporizador de condensador .

S21, S22, S11, S12 : Pulsador de arranque y parada. KMC1, KMC2 : Contactor de condensador.

KBP1, KBP2 : Contactor BY - PASS.

A.E.1, A.E.2 : Contacto de arrancador estático 1 y 2. B.D : Bobina de disparo de interruptor general.

S.E : Pulsador para desconexión general.

KA1, KA2 : Contactor de condensador.

H1, H2 : Lampara de funcionamiento normal.

B.D : Bobina de disparo de interruptor general.

S.E : Pulsador para desconexión general.

KA1, KA2 : Contactor auxiliar para arrancador.

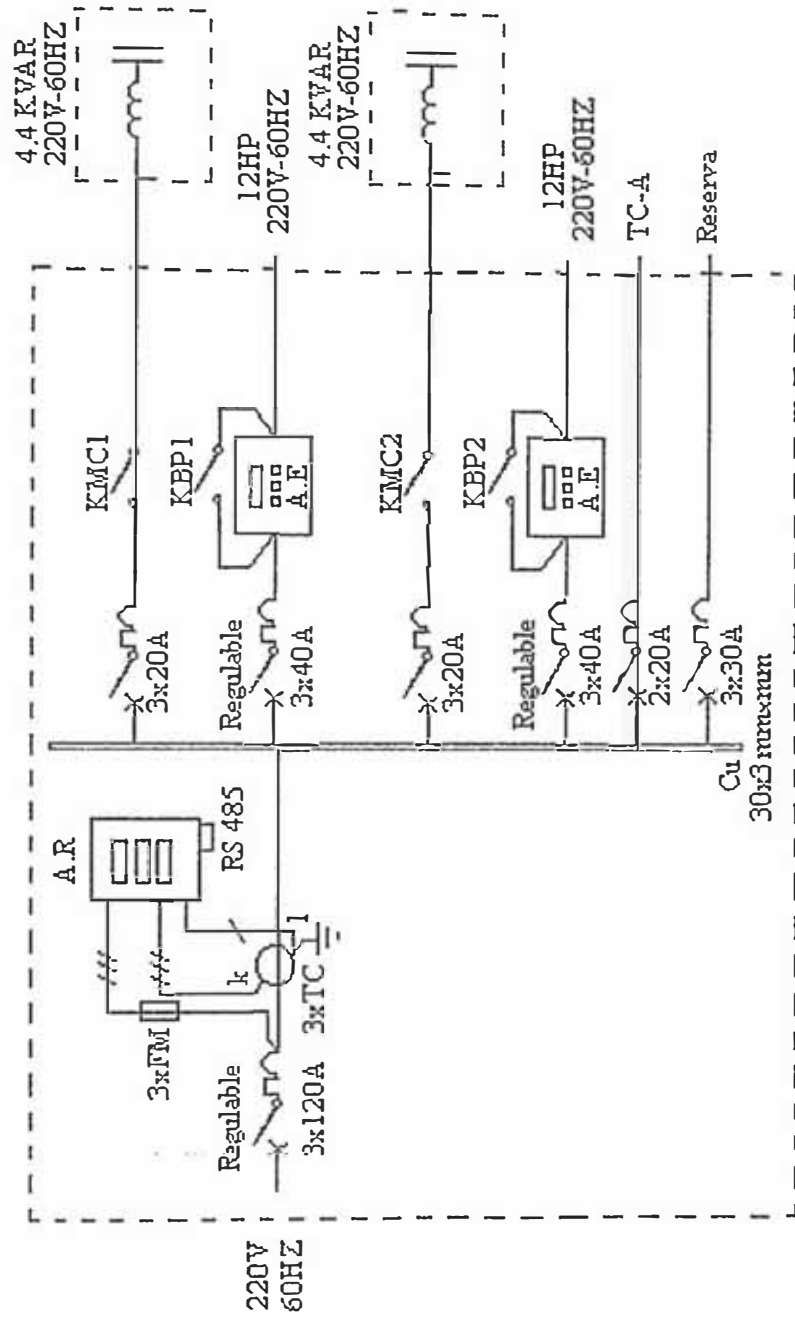


Fig. 2.14 Circuito de fuerza de TF-A

- FM : fusible de medición de 2A.
- TC : Transformador de corriente 150/5A .
- KMC1 , KMC2 : Contactor para conexión de condensador.
- KBP1 , KBP2 : Contactor by-pass
- A.R : Analizador de redes
- A.E : Arrancador estático

- S11,S12 pulsadores de parada de lectrobombas
- S21,S22 pulsadores de arranque de electrobombas
- Xd : 1 , Xd : 2 , Bornes de distancia para bloqueo de electrobombas
- Xd : 3 , Xd : 4 , Bornes de distancia para arranque por reservorio (Viene de tablero de control automático)
- Xd : 5 , Xd : 6 , Bornes de distancia para arranque por reservorio (Viene de tablero de control automático)

### **2.3 Sistema de automatismo entre pozos y reservorios**

Para el diseño del sistema de control automático se tendrá en cuenta la fig. 2.14. y su respectivo diagrama de bloques fig 2.15.

#### **2.3.1 Tableros de control automático**

El automatismo se realizara con 03 tableros de control automático ubicados en cada caseta de bombeo (Pozos: P-2, P-404 y reservorio R4).En el reservorio R5 se ubicara un cuarto tablero , para la medición de niveles ( telemetria ) el cual se comunicara con el tablero de control maestro.

- Tablero de control automático TC-A: Reservorio R4
- Tablero de control automático TC-B: Pozo P-404
- Tablero de control automático TC-C: Pozo P-2
- Tablero de transmisión de tatos ( mA/ HZ ) TC-D

#### **a) Equipamiento de tableros de control**

Cada tablero de control debe tener el siguiente equipamiento:

- Interruptor termomagnetico de 2 x 10A
- Estabilizador de 1000 VA

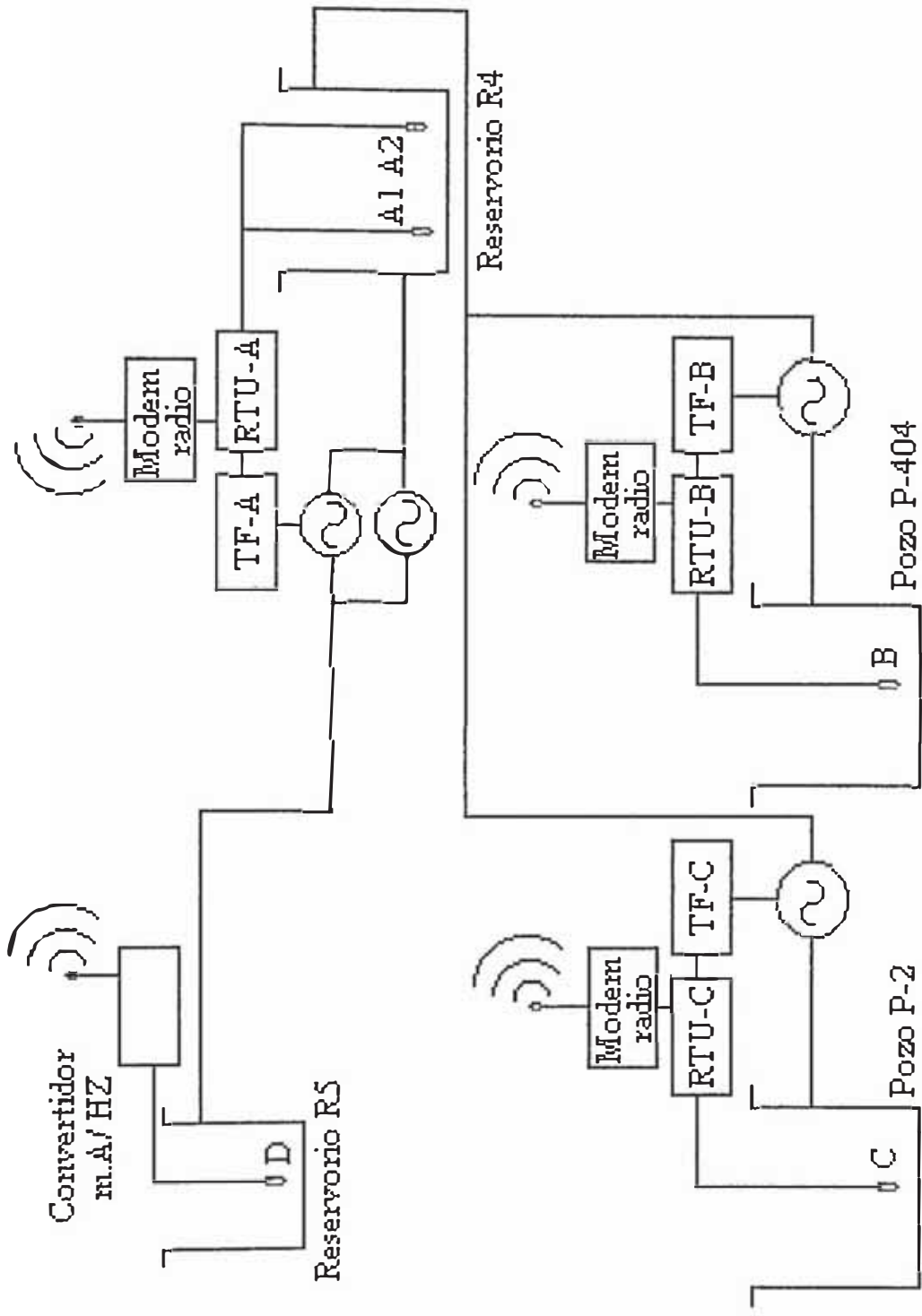


Fig. 2.15 Diagrama para el automatismo entre pozos y reservorios.

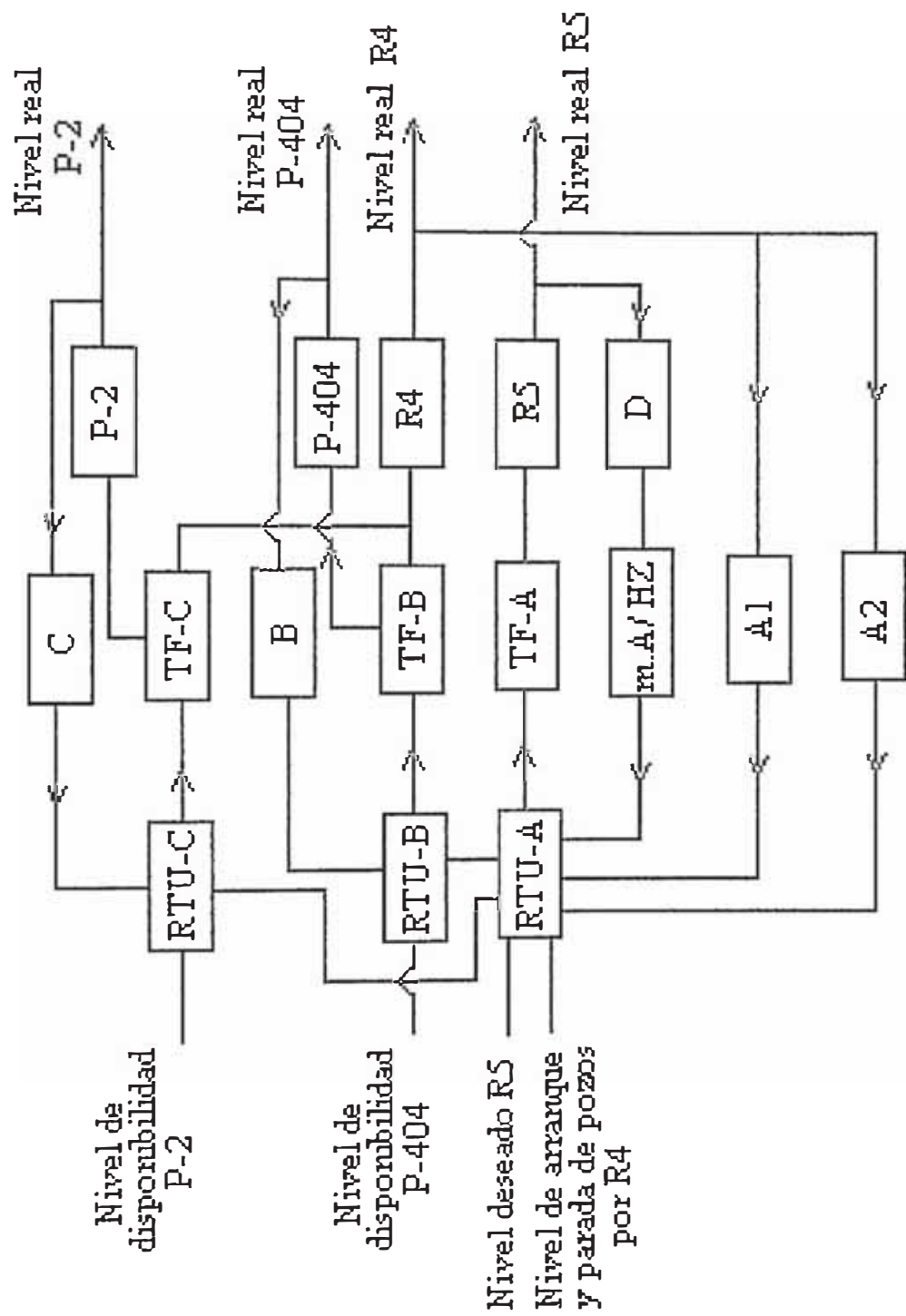


Fig. 2.16 Diagrama de bloques para el automatismo entre pozos y reservorios.

- Batería de Ni-Cad
- Cargador de batería
- Unidad terminal remota (RTU)
- Display para visualización de caudal
- Display para visualización de nivel
- Display para visualización de presión
- Equipo de radio
- Regleta de borneras

**Nota :** El tablero TC-D de la caseta de reservorio R5 , no necesita automatización local, bastará con un equipo de radio con convertidor de señal de mA/ HZ .

#### **b) Funciones de la RTU**

Cada unidad terminal remota deberá ser capaz de realizar las siguientes funciones:

- Gestor de comunicaciones
- Automatización (PLC)
- Transmisión , registros de datos y alarmas
- Interfase de protocolos

#### **c) Tablero de control automático TC-A**

Es el tablero de control maestro, el cual realizará la automatización total, que esta comprendida en dos etapas mencionadas en 1.4.3

#### **Dimencionamiento de entradas y salidas de la RTU-A**

Primera etapa ( Pozos P 404 y P-2 y reservorio R4):

- Medición de niveles de sensor A1
- Comunicación con RTU-B , RTU-C



### **Segunda etapa (reservorios R4 y R5)**

- Medición de nivel sensor A2
- Medición de nivel sensor D
- Medición y reporte de caudal en R4
- Medición y reporte de presión en R4
- Medición y reporte del analizador de redes
- Arranque de electrobomba de rebombeo
- Bloqueo de electrobomba de rebombeo
- Arranque simultáneo de electrobombas de rebombeo

### **Entradas /salidas de la RTU - A**

- Puerto de comunicación RS-232 para comunicación con sistema de radio
- 04 entradas analógicas (4 - 20mA)
- Puerto de comunicación RS - 485
- 03 salidas tipo relé

### **Adicionalmente**

- 01 Puerto de comunicación RS 232 para programación local
- 01 Entrada analógica de reserva
- 01 Salida tipo relé de reserva

### **d) Tablero de control automático TC-B**

Tablero de control esclavo que se encarga de recibir y enviar señales a tablero de control maestro , mando y bloqueo de electrobomba de pozo P-404.

### **Dimencionamiento de entras y salidas de la RTU-B**

- Medición de nivel de pozo P-404

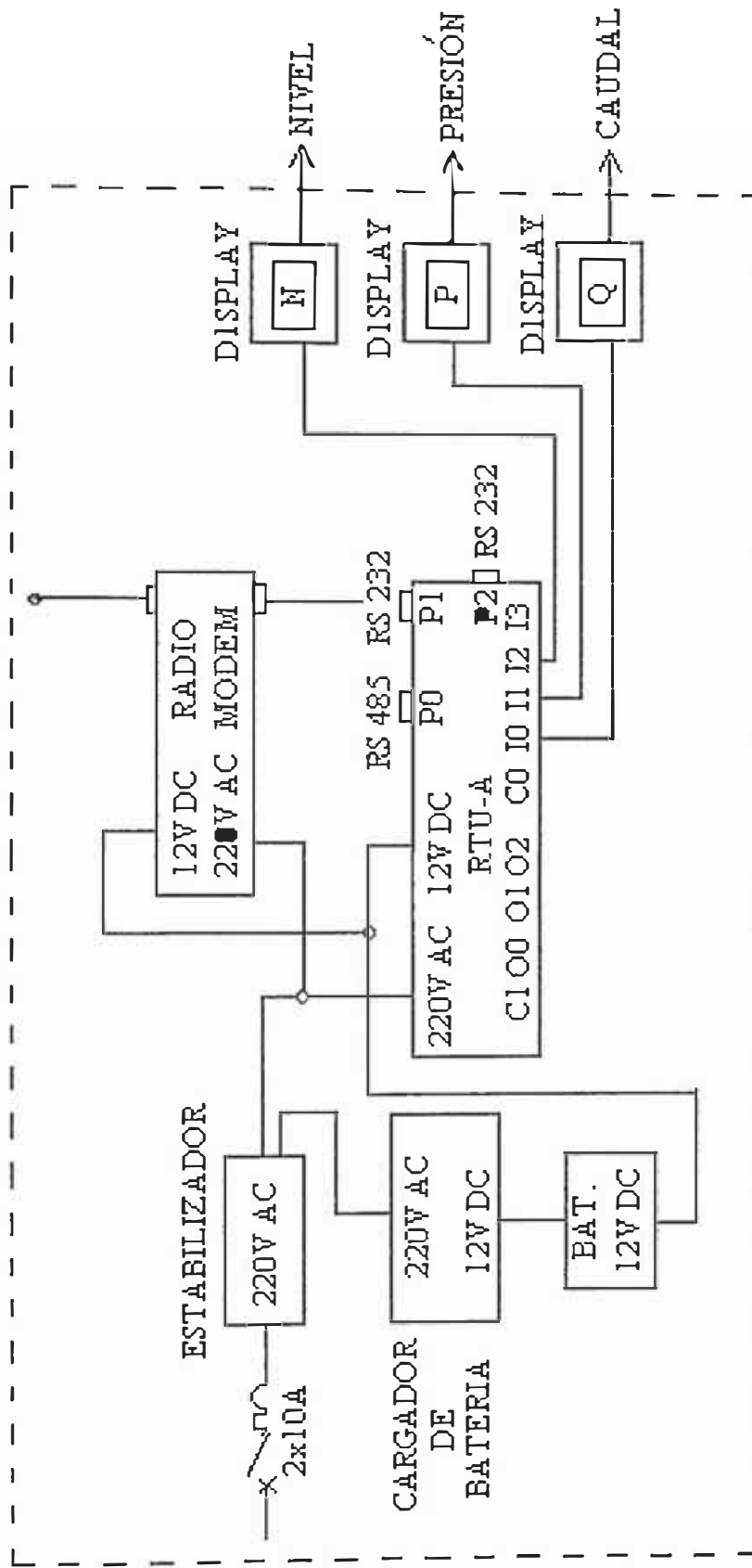


Fig. 2.17 Esquema eléctrico de TC-A

- Medición de registro de caudal
- Medición y registro de presión
- Medición y registro de analizador de redes
- Transmisión de señales de alarma
- Comunicación con tablero de control maestro
- Arranque de electrobomba
- Bloqueo de electrobomba

#### **Entradas/salidas de la RTU-B**

- 03 entradas analógicas
- 01 puerto de comunicación RS-485
- 01 Puerto de comunicación RS-232
- 02 Salidas N.A. tipo relé.

Adicionalmente:

- 01 Puerto de comunicación RS 232 para programación local
- 01 Entrada analógica de reserva
- 01 Salida tipo relé de reserva

Nota : El esquema eléctrico de TC-B y TC-C es similar al de TC-A , con la diferencia del microprocesador de RTU-A es más potente.

#### **e) Tablero de control TC-C**

Tablero de control esclavo con las mismas características de equipamiento y dimensionamiento que el tablero TC-B

#### **f) Tablero de control TC-D**

Tablero de transmisión de datos que se encarga de enviar la medida de el nivel

de agua en el reservorio R5 a el tablero de control maestro.

### **Dimencionamiento de entras y salidas de la RTU-D**

- Medición de nivel de reservorio R5
- Transmisión de señales de alarma
- Comunicación con tablero de control maestro

### **Entradas/salidas de la RTU-D :**

- 01 entrada analógica
- 01 Puerto de comunicación RS-232

Adicionalmente:

- 01 Entrada analógica de reserva

## **2.4 Sistema de telemetria y telecontrol entre pozos y reservorios**

### **2.4.1 Arquitectura del control de la red de comunicación**

En la arquitectura de control de la red se define los componentes de la red de datos, se incluye el hardware, el software y los enlaces de comunicación y la forma en que actúan e interactúan cada uno de ellos. En el sistema centralizado con orientación a terminal remota su protocolo tiene 02 niveles.

a) El procedimiento de línea con que se administra el medio físico y se posibilita la detección y corrección de errores.

b) El procedimiento con que se administra el flujo de información entre una unidad terminal esclava y la unidad terminal central.

### **2.4.2 Redes de telecontrol**

En la transmisión de señales de control o datos no hay intervención humana o casi ninguna ,nosotros los humanos nos damos cuenta de los efectos. Un ejemplo son

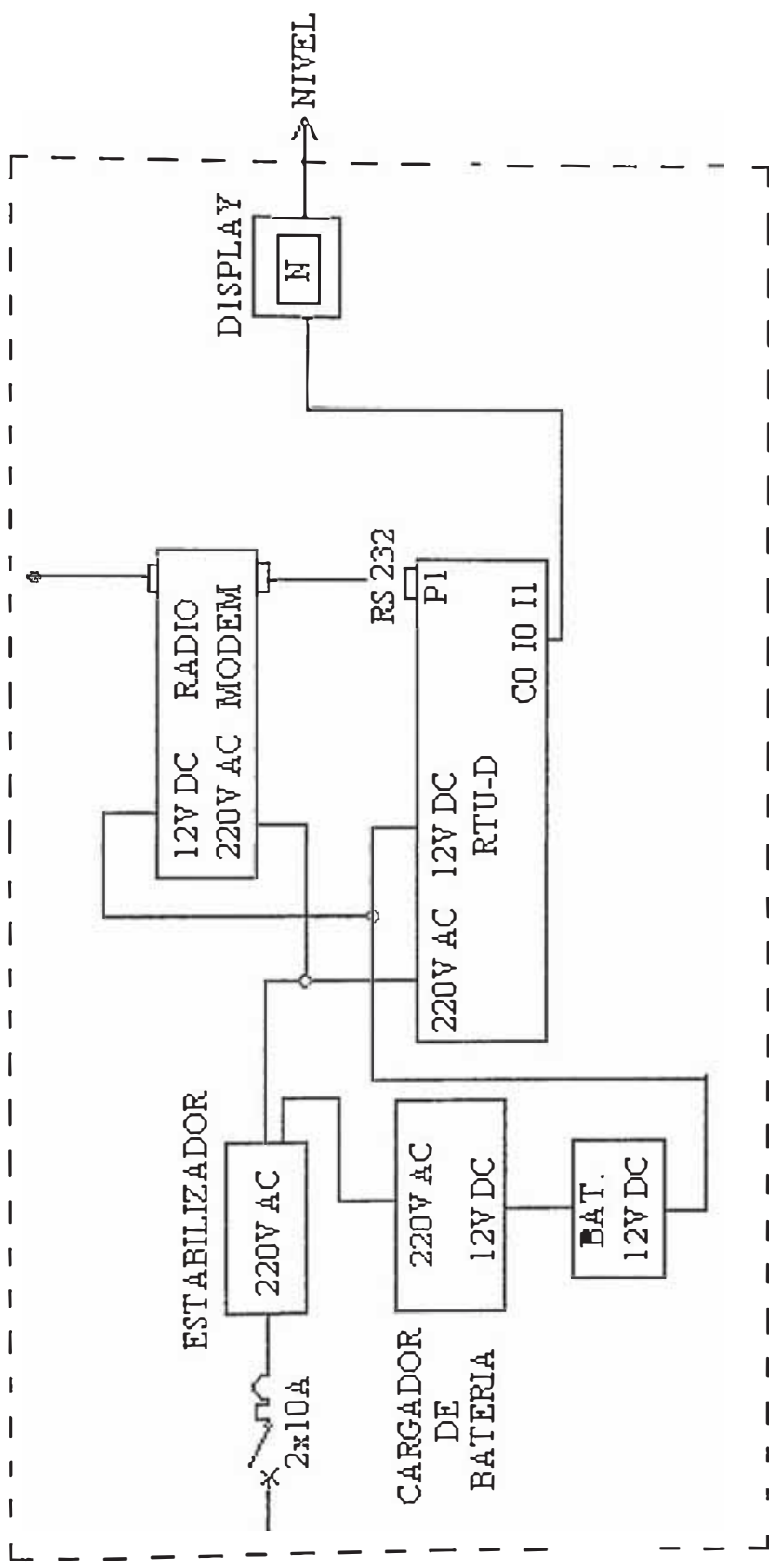


Fig. 2.18 Esquema eléctrico de TC-D

los sistemas automáticos de control, lo cuales son supervisados mediante computadora.

Este progreso en la transmisión de datos se debe al incremento del uso del procesamiento electrónico de datos.

La transmisión de datos se realiza mediante códigos alfanuméricos digitalizados y desplazados en secuencias de bits desde un transmisor hacia un receptor, que no tienen significado directo pero que actúan como estímulo específico en la “máquina” (o redes de máquinas) para producir la reacción que se desea.

Existen diferentes aplicaciones y una de ellas es el control automático de sistemas de agua potable pero en todas las aplicaciones se considera principalmente si el procesamiento de datos debe ser centralizado o distribuido. Con las RTU y las microcomputadoras, se deberá escoger entre el método centralizado o distribuido.

Las terminales inteligentes (PLCs) en los lugares remotos puede realizar funciones de procesamiento de comunicación y control, como por ejemplo conversión de señales, control de errores y control de la representación visual. También se consideran las posibilidades de funciones de procesamiento local más avanzadas (automatización) las cuales están al alcance de las terminales remotas.

#### **a) Requerimientos**

La red de telecontrol se diseña para cubrir una necesidad y por lo tanto, la especificación técnica de la red debe estar en función de los requerimientos solicitados por el usuario (SEDAPAL).

#### **b) Consideraciones previas de diseño.**

- Cantidad de ubicación de los sitios de procesamiento (reservorio R-4)

- Cantidad y ubicación de las unidades terminales remotas (pozos P-2, P-404 y reservorio R5).
- Tipo de transacciones que se va a procesar (señales de arranque y parada de electrobombas, mediciones y registro de datos).
- Accesibilidad que se necesita al sistema (sistema SCADA y programación local).

### **2.4.3 Diseño del sistema de radioenlace**

Debido a su importancia como RTU maestra y su disposición geográfica la caseta de rebombeo del reservorio R4 será el núcleo de las comunicaciones para el sistema, por tanto la altura de torres y ganancia de antenas serán calculadas tomando como referencia dicha caseta.

La selección de la banda de frecuencia en un sistema de radio enlace está relacionado con la distancia de transmisión (distancias mas halla del horizonte visual y línea de vista).

Entre los pozos y reservorios existe una línea de vista, las bandas usadas para línea de vista en radio enlaces son de 150 MHZ, 450 MHZ y 900MHZ los cuales proporcionan la capacidad de transmisión multicanal de 12-120 canales nominales, arriba de los 2 GHZ los sistemas en línea de vista transmiten hasta 1600 - 2700 canales. Para nuestro caso se utilizará la banda de 930 - 950 MHZ ,generalmente la modulación es digital (para nuestra aplicación) .

#### **a) Cálculo de altura de torres**

Para determinar la altura de torres se requiere tener las distancias exactas entre pozos y reservorios como también los obstáculos geográficos y construcciones de edificios

Entre los pozos P-2 (Las gardenias), P-404 (Cruce de Av. Tomas Valle y Av. Universitaria) y el reservorio R4 no existe ningún obstáculo geográfico, al contrario el reservorio R4 es elevado por un cerro (a 700 metros entre el cruce de la Av. Angélica Gamarra y Av. Universitaria) El reservorio R5 se encuentra 1.4 km del reservorio R4 y a una altura de 38 mt. de altitud con respecto al reservorio R4 entre ellos existe un claro geográfico y por estar sobre cerros no existe construcciones (ver plano de ubicación).

#### Altura de torre para pozo P-404 con respecto a R4:

Según fig. 2.19 a 80mts. del pozo P-404 existe una construcción que impide la línea de vista con R4, esta construcción mide 8 mts. de altura, para poder salvar este obstáculo la línea de vista L.V se traslada paralelamente hasta la línea L.V' una

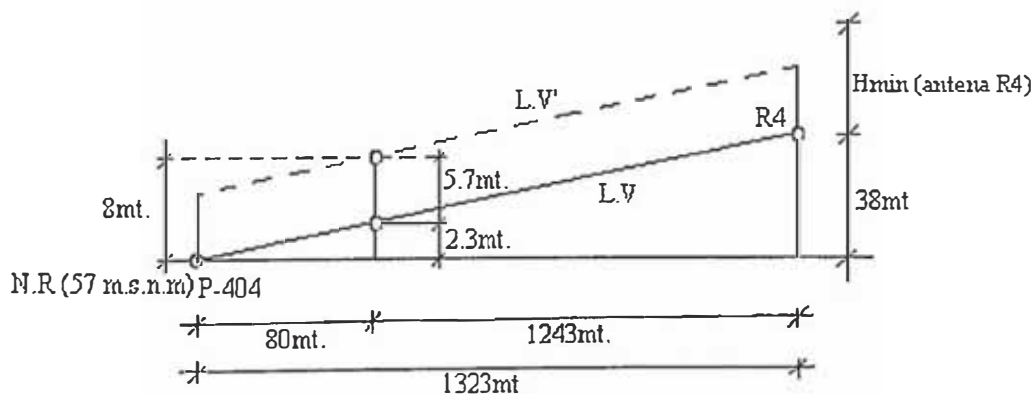


fig. 2.19

distancia de 5.7 mt de esta manera existe una línea de vista sin obstáculos entre P-404 y R4.

Además se tiene que considerar la irregularidad del terreno, es decir, la cantidad de metros que aumenta la altura (en la trayectoria) de un obstáculo como resultado



de la curvatura de “irregularidad” del terreno. La cantidad de irregularidades del terreno en cualquier punto de la trayectoria se puede calcular mediante la formula.

$$h=(0.078*d1*d2) / k \quad (2.15)$$

d1: Distancia desde la posición de la antena de transmisión al obstáculo(km).

d2: Distancia desde la posición del obstáculo a la antena de resección(km).

K: Factor de refracción atmosférica.

También se tiene que añadir la altura debido al fenómeno de fresnel (difracción), este fenómeno proviene de la teoría de ondas electromagnéticas según la cual el frente de onda, como el del haz, tiene propiedades de expansión conforme se propaga en el espacio. Estas propiedades de expansión dan como resultado reflexiones y transmisiones de fases cuando la onda pasa sobre un obstáculo el efecto es el incremento o decremento en el nivel de la señal que se recibe. La cantidad de margen adicional que se debe dejar sobre los obstáculos para evitar los problemas del fenómeno se expresa mediante las zonas de fresnel.

$$R_m=15.3*\sqrt{[d1*d2/(F*D)]} \quad (2.16)$$

F: Frecuencia en G Hz

d1: Distancia desde la antena de transmisión hasta el obstáculo ( km ).

d2: Distancia desde el obstáculo en la trayectoria hasta la antena de recepción ( km ).

D : d1+d2

$$d1=0.08 \text{ km}$$

$$d2=1.243 \text{ km}$$

$$k=2/3$$

$$h=0.012 \text{ mt}$$

$$R_m=4.92 \text{ mt}$$

$$H_{\text{min}}(\text{antena R4}) = 5.7 + 0.012 + 4.92 = 10.632 \text{ mt.}$$

$$H(\text{caseta R4}) = 3 \text{ mt}$$

$$H_{\min}(\text{torre R4}) = 7.632 \text{ mt} \quad (2.17)$$

$$H_{\min}(\text{antena P-404}) = 5.7 \text{ mt}$$

$$H(\text{caseta P-404}) = 3 \text{ mt}$$

$$H(\text{torre P-404}) = 3.5 \text{ mt}$$

Según fig.2.20 a 120mt de la caseta del pozo P-2 se encuentra una construcción de 9mt ,se realizara el mismo procedimiento anterior.

$$d_1 = 1.655 \text{ km.}$$

$$d_2 = 0.120 \text{ km.}$$

$$k = 2/3$$

$$h = 0.0252 \text{ mt.}$$

$$R_m = 6 \text{ mt}$$

$$H'_{\min}(\text{antena R4}) = 6.4 + 0.012 + 6 = 12.4232 \text{ mt.}$$

$$H(\text{caseta R4}) = 3 \text{ mt.}$$

- **Altura de torre para pozo P-2 con respecto a R4:**

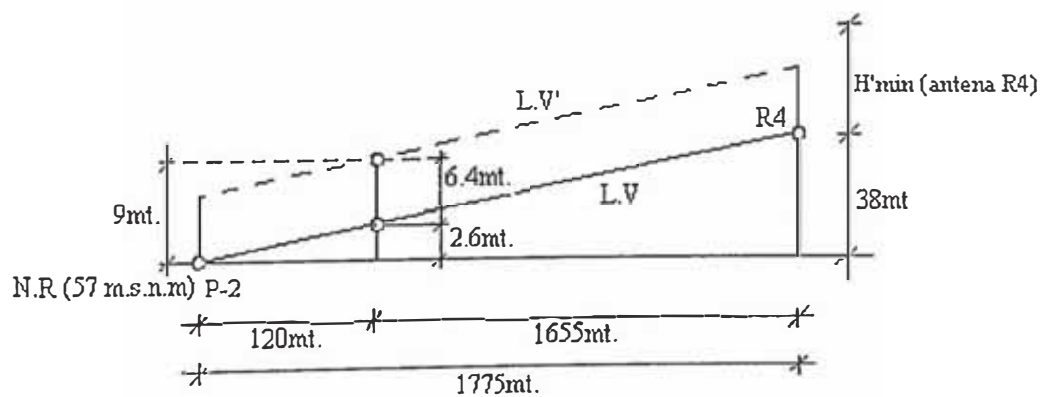


Fig. 2.20

$$H_{\min}(\text{torre R4}) = 9.42 \text{ mt} \quad (2.18)$$

$H_{\min}(\text{antena P-2}) = 6.4 \text{ mt}$

$H(\text{caseta P-2}) = 3 \text{ mt.}$

$H(\text{torre P-404}) = 4 \text{ mt}$

◦ **Cálculo de torre de R4**

Se selecciona el mayor valor de 2.17 y 2.18

$H(\text{torre R4}) = 9.5 \text{ mt.}$

Calculo de torre de reservorio R5:

En vista que no existe ningún obstáculo geográfico o construcción la altura de torre de reservorio R5 será :

$H(\text{torre R5}) = 4 \text{ mt.}$

**b) Cálculos de trayectoria**

Una vez que se ha determinado la altura de las torres, ahora se necesita asignar ciertos parámetros al equipo de radio que se desea instalar.

**Parámetros requeridos**

◦ **Perdida de trayectoria**

$$P = 92.4 + 20 * \text{Log} ( F ) + 20 * \text{Log} ( D ) \quad (2.19)$$

P: Atenuación del espacio libre entre antenas isotropicas en dB

F: Frecuencia en GHZ

D: Distancia de la trayectoria en km.

Perdida de trayectoria entre P-2 y R4

$D = 1.775 \text{ km.}$

$F = 930 \text{ Mhz.}$

$P = 96.75 \text{ dB}$

Perdida de trayectoria entre P-404 y R4

$D=1.323$  km.

$F= 930$  Mhz.

$P=94.2$ dB.

Perdida de trayectoria entre P-2 y R4 :

$D= 0.815$  km.

$F= 930$  Mhz.

$P= 89.98$ dB.

- **Nivel de ruido térmico**

El nivel de ruido térmico en el receptor se puede calcular como sigue

$$R \text{ (dBW )} = -228.6 \text{ dBW} + 10 \log ( T ) + 10 \log ( A_{fi} ) \quad (2.20)$$

$T=300^\circ\text{K}$  ( grados Kelvin )

$A_{fi} = 20$ MHZ

$R = -130.00$  dBW

- **Pérdidas en cable de antena**

Cable RF 213 tiene una atenuación aproximadamente de 27dB/ 100 mt. a 950MHZ.

Para los pozos y reservorio R5 consideramos una distancia entre tablero de control y antena de 9mt, por lo tanto la pérdida en el cable de antena es :

$$R2(\text{cable de antena}) = 2.5 \text{ dB}$$

Para el reservorio R4 consideramos una distancia entre tablero de control y antena de 15 mt , por lo tanto la pérdida en el cable de antena es :

$$R1(\text{cable de antena}) = 4.1 \text{ dB}$$

◦ **Nivel en el receptor en pozo P-2**

La relación señal ruido (S/R)dB para sistemas de transmisión de datos de equipos terminales se considera 35dB con base en un índice de error específico, entonces con la ecuación siguiente calcularemos el nivel en el receptor :

$$(S/R)_{dB} = \text{nivel (señal dBW)} - \text{nivel (ruido dBW)} \quad (2.21)$$

$$(S/R)_{dB} = 35 \text{ dB}$$

$$\text{nivel (ruido dBW)} = R = -130 \text{ dBW}$$

$$\text{nivel receptor (señal dBW)} = -95 \text{ dBW}$$

**Nivel del transmisor (reservorio R4)**

$$\text{nivel transmisor (señal dBW)} = R1 + P + R2 + \text{nivel receptor (señal dBW)} \quad (2.22)$$

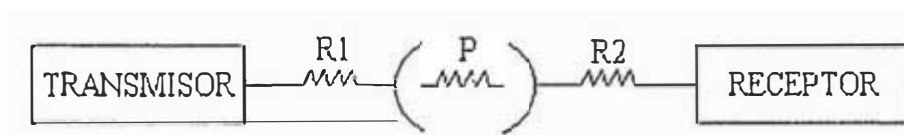


Fig. 2.21

$$R1 = 4.1 \text{ dB}$$

$$R2 = 2.1 \text{ dB}$$

$$P = 96.75 \text{ dB}$$

$$\text{nivel receptor (señal dBW)} = -95 \text{ dBW}$$

$$\text{nivel transmisor (señal dBW)} = 7.95 \text{ dBW (sin ganancia de antena)}$$

$$\text{Ganancia total de antenas} = 4 \text{ dB}$$

$$\text{nivel transmisor (señal dBW)} = 3.95 \text{ dBW (con ganancia de antena)}$$

$$10 \cdot \log(\text{Potencia del transmisor} / W) = 3.95 \text{ dBW}$$

$$\text{Potencia del transmisor} = 2.48 \text{ W}$$

◦ **Nivel en el receptor en pozo P-404 y reservorio R5**

Analogamente

nivel receptor ( señal dBW ) = -95 dBW

Considerando que las pérdidas por trayectoria entre P-2 y R4 son mayores que las demas trayectorias , esta se considera para el calculo del nivel del transmisor.

## 2.5 Sensores de nivel

### 2.5.1 Tranductor de presión con salida analógica para medición de nivel

#### a) Reservoirio R-5

De las ecuaciones  $H \times 3.1416 \times r^2 = V$  ,  $P = 9.8 \times H$

r : radio interno de reservoirio en mt.

H : altura de agua máxima en mt.

V : volumen de agua en reservoirio en m<sup>3</sup>

P : presión hidrostática en Kpas

entonces tenemos

$H = 3.53$  mt

$P_{max} = 35$  Kpas ( 5.25 PSI )

Transductor de presion

$P_{max} = 10$  PSI

Salida = 4-20mA

Alimentacion : 9 a 30V d.c

#### b) Reservoirio R-4

$H = 6.37$  mt

$P_{max} = 62.5$  Kpas ( 9.4 PSI )

Transductor de presion

$P_{max} = 15$  PSI.

Salida = 4-20mA.

Alimentacion : 9 a 30V d.c

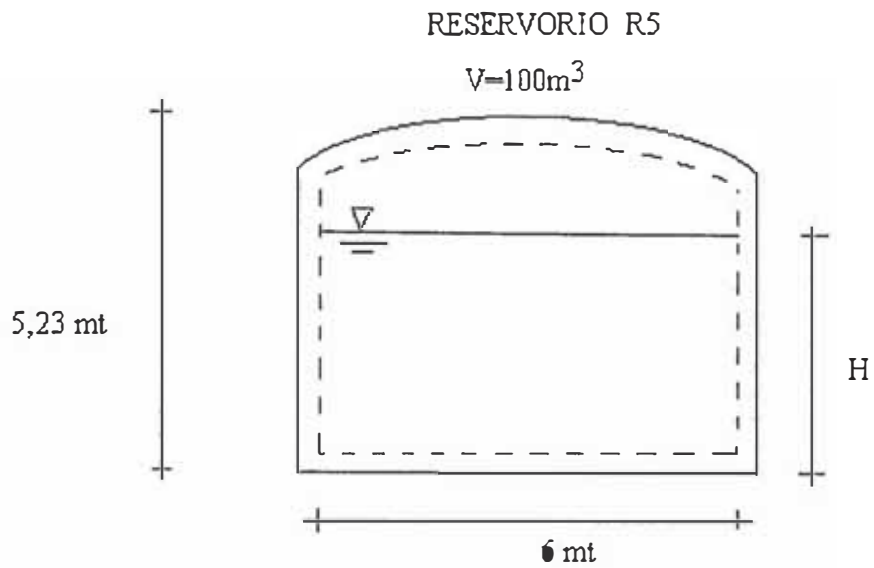


fig. 2.22

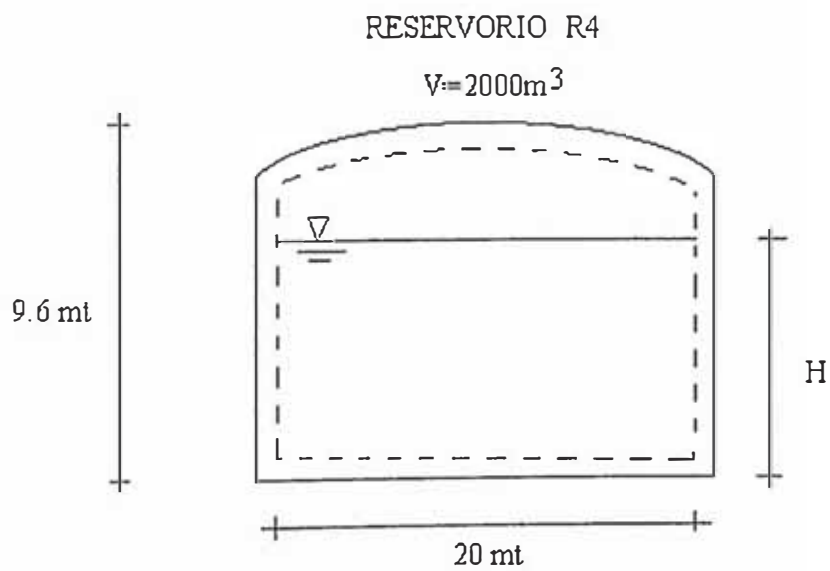


fig. 2.23

### c) Pozos

Profundidad promedio de pozos = 60mt.

$P_{max} = 686 \text{ Kpas ( 103 PSI )}$

Transductor de presión :

$P_{max} = 150 \text{ PSI.}$

Salida = 4-20mA.

Alimentación : 9 a 30V d.c

## 2.6 Sistema de supervisión de control y adquisición de datos ( SCADA )

### 2.6.1 Introducción

SCADA son las siglas de “Supervisor, Control And Data Acquisition”, es decir, adquisición de datos , supervisión y control. Se trata de un software especialmente diseñado para funcionar sobre ordenadores de control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, mantenimiento, etc. Hoy en día es fácil hallar un sistema SCADA realizando labores de control automático en cualquiera de sus niveles, aunque su labor principal sea de supervisión y de control por parte del operador. En la tabla 2.2 se muestra un cuadro con las principales características de los sistemas SCADA (Estas características no son limitantes del sistemas, son típicas).



TABLA 2.2

ASPECTO	SCADA
Tipo de arquitectura	Centralizada
Tipo de control Predominante	Supervisorio : lazos de control cerrados por el operador. Adicionalmente: control secuencial y regulatorio.
Tipo de variables	Desacopladas
Area de acción	Areas geográficamente distribuídas.
Unidades de adquisición de datos y control	Remotas , PLCs.
Medios de Comunicación	Radio, satélite, líneas telefónicas.
Base de datos	Centralizada

Los programas necesarios, y en su caso de hardware adicional que se necesite, se denomina en general sistema SCADA.

### 2.6.2 Aplicación del sistema SCADA

#### a) Flujo de la información del sistema SCADA

Es como se describe a continuación:

- El fenómeno físico lo constituye la variable que deseamos medir. Dependiendo del proceso, la naturaleza del fenómeno es muy diversa: presión, temperatura, flujo, potencia, intensidad de corriente, voltaje, ph, densidad, etc. Este fenómeno debe traducirse a una variable que sea inteligible para el sistema SCADA, es decir, en una variable eléctrica. Para ello, se utilizan los sensores o transductores.

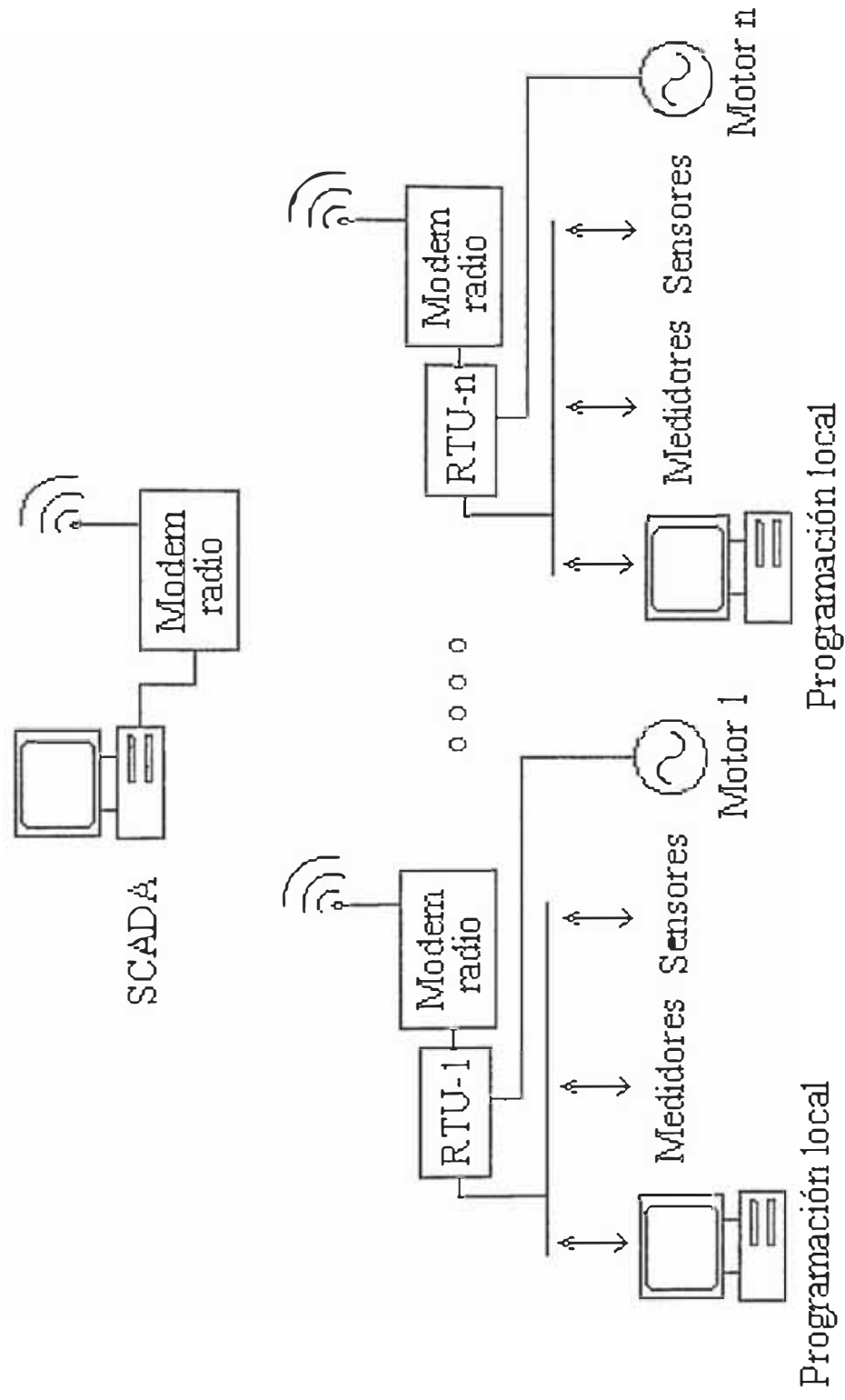


Fig. 2.24 Diagrama de aplicación del SCADA.

- Los sensores o transductores convierten las variaciones del fenómeno físico en variaciones proporcionales de una variable eléctrica. Las Variables eléctricas más utilizadas son: voltaje, corriente, carga, resistencia o capacitancia.

Sin embargo, esta variedad de tipos de señales eléctricas debe ser procesada para ser entendida por el computador digital. Para ello se utilizan acondicionadores de señal, cuya función es la de referenciar estos cambios eléctricos a una misma escala de corriente o voltaje. Además, provee aislación eléctrica y filtraje de la señal con el objeto de proteger el sistema de transitorios y ruido originados en el campo.

Una vez acondicionada la señal, la misma se convierte en un valor digital equivalente en el bloque de conversión de datos. Generalmente, esta función es llevada a cabo por un circuito de conversión analógico/digital. El computador almacena esta información, para procesarla y para la toma de decisiones. Simultáneamente, se muestra la información al usuario del sistema, en tiempo real.

Basado en la información, el operador puede tomar la decisión de realizar una acción de control sobre el proceso. El operador comanda al computador a realizarla, y de nuevo debe convertirse la información digital a una señal eléctrica. Esta Señal eléctrica es procesada por una salida de control, el cual funciona como un acondicionador de señal, la cual da escala para manejar un dispositivo dado: bobina de un relé, setpoint de un controlador, etc.

#### **b) Necesidad de un sistema SCADA**

Para evaluar si un sistema SCADA es necesario para manejar una instalación dada, el proceso a controlar debe cumplir las siguientes características:

- El número de variables del proceso que se necesita monitorear debe ser grande alto.
- El proceso está geográficamente distribuido. Esta condición no es limitativa, ya que puede instalarse un SCADA para la supervisión y control de un proceso concentrado en una localidad.
- La información del proceso se necesita en el momento en que los cambios se producen , en otras palabras, la información se requiere en tiempo real.
- La necesidad de optimizar y facilitar las operaciones de la planta, así como la toma de decisiones, tanto gerenciales como operativas.
- Los beneficios obtenidos en el proceso justifican la inversión en el sistema SCADA. Estos beneficios pueden reflejarse como aumento de la efectividad de la producción, de los niveles de seguridad, etc.
- La complejidad y velocidad del proceso permiten que la mayoría de las acciones de control sea iniciada por un operador. En caso contrario, se requerirá de un sistema de PLCs, Controladores a Lazo Cerrado o una combinación de ellos.

### **c) Prestaciones**

El software del sistema SCADA debe estar en disposición de ofrecer las siguientes prestaciones:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de históricos de señal de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.

Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso el programa total sobre el autómeta, bajo ciertas condiciones.

- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la del autómeta, menos especializado, etc.

Con ellas, se puede desarrollar aplicaciones basadas en la PC, con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco e impresora, etc.

Programación en un lenguaje de uso general (como C, Pascal, o Basic), lo cual le confiere una potencia muy elevada y una gran versatilidad.

#### d) **Requisitos**

Un sistema SCADA debe cumplir varios requisitos para que su instalación sea perfectamente aprovechada:

- Debe ser de arquitectura abierta, con capacidad de expansión según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Debe permitir fácil comunicación y de forma transparente entre el usuario, el equipo de planta y el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- Debe tener programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware. Debe ser amigable.

#### e) **Módulos de un sistema SCADA**

Los módulos o bloques software que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son los siguientes:

- Configuración: permite al usuario definir el entorno de trabajo de su sistema SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.

- Interfaz gráfico del operador: proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el sistema SCADA o importados desde otra aplicación durante la configuración del software.
- Módulo de proceso: ejecuta las acciones de mando reprogramadas apartir de los valores actuales de variables leídas. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C, Basic, etc.).
- Gestión y archivo de datos: se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- Comunicaciones: se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA , y entre esta y el resto de elementos informáticos de gestión.

#### **f) Software SCADA**

Algunos de los programas SCADA, o que incluyen SCADA como parte de ellos, son:

- CIRNET, de CIRCUTOR S.A.
- SCADA In Topuch, de LOGITEK.
- Win CC, de Siemens.
- SYSMAC SCS, de Omron.
- FICDMACS, de Omron-Intellution.

### **2.6.3 Sistema SCADA para nuestro sistema de agua potable**

El sistema SCADA estará basado en computadores que permitirán realizar las operaciones de supervisión ,control, medición y registro de datos de la unidad terminal remota central ( RTU-A) ubicada en la caseta de rebombeo R4 , el lazo de control será generalmente cerrado por los sensores de nivel o el operador.

**a) El sistema SCADA deberá cumplir con las siguientes características**

#### **Software**

En torno Windows y deberá realizar las siguientes funciones:

- Gestión de ficheros históricos
- Gestión de informes
- Total control sobre la información adquirida
- Manipulación de alarmas
- Control de acceso por password.
- Gestión de recetas de fabricante.

#### **Edición de pantallas**

El sistema SCADA debe proporcionar un entorno integrado de desarrollo gráfico propio para el diseño del interfase de aplicación (RTU maestra), realizar una representación completa de datos definición de los elementos dinámicos en cada una de las pantallas estáticas.

## Comunicaciones

Mediante modem radio , la configuración de las comunicaciones debe ser compatible con la RTU maestra para un correcto envío y recepción de señales.

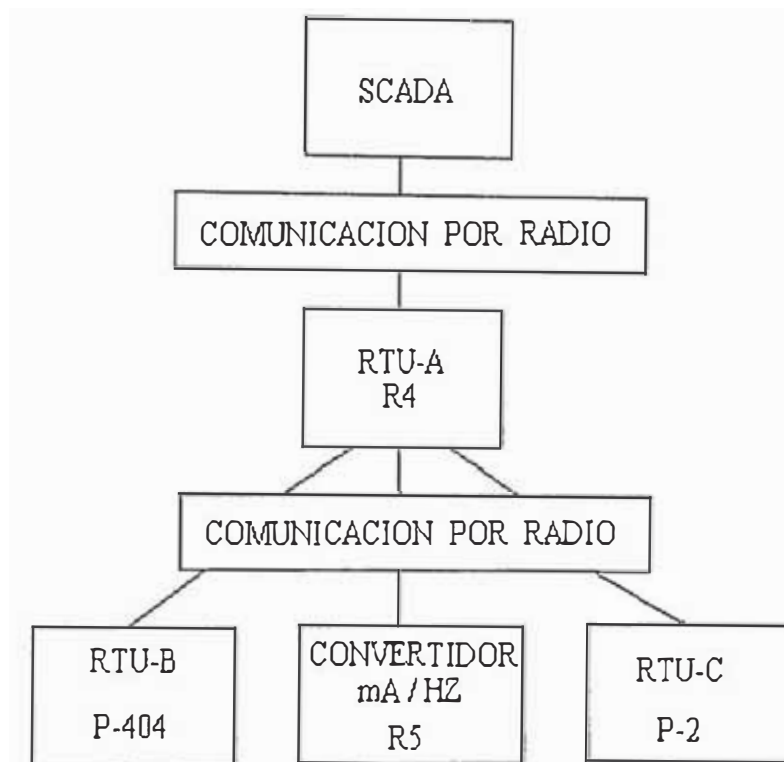


Fig. 3.2 Diagrama para comunicación entre sistema SCADA y RTUs

## Gestión de alarmas

Configuración de alarmas requeridas, mínimo 30 variables

## Gráficas de tendencia

Para registro histórico de variables en el tiempo, para cada caseta de bombeo y rebombeo tales como :

- Parámetros Eléctricos



- Caudal
- Presión
- Niveles

### **CAPITULO III**

## **ESPECIFICACIONES TECNICAS, PRESUPUESTO Y METRADO DEL PROYECTO**

Estas especificaciones definen las condiciones y características mínimas que debe cumplir el diseño, fabricación e instalación de los equipos y materiales a ser usados dentro del presente proyecto.

Los planos, las especificaciones técnicas y metrados se complementan y en el caso de existir divergencias entre ellos, los planos prevalecen sobre las especificaciones técnicas y estas sobre el metrado.

Todos los suministros deberán ajustarse a los diseños de los planos y las características especificadas para el material y equipos. Dichos materiales y equipos deberán ser oportunamente inspeccionados para su aprobación o desaprobación rechazo por el ingeniero supervisor o su representante.

Todos los equipos y materiales a ser suministros serán de primer uso y con garantía por cualquier daño debido a defectos de fabricación ,determinará su reparación o remplazo por otro equivalente, sin que ello signifique un costo adicional para el propietario.

El contratista deberá incluir todos los materiales y trabajos que fueran necesarios para el correcto funcionamiento las instalaciones materia del presente

proyecto, aunque no estuvieran expresamente indicados en los documentos del mismo.

### **3.1 Tableros de fuerza**

#### **3.1.1 Platinas de cobre**

Serán de sección rectangular 20 x 3mm de cobre electrolítico con pureza de 99.99% de alta conductibilidad eléctrica, alta resistencia a la corrosión, adecuada maquinabilidad y excelentes propiedades para ser trabajadas en frío o caliente.

Cada fase tendrá una separación con respecto a otra fase de tierra o como mínimo de 50 mm, además cada platina estará pintada con dos capas de pintura de base de vinilo y el color esta de acuerdo al C.N.E.

Las barras serán instaladas en forma vertical, es decir, las barras serán instaladas con su cara más ancha (20mm) como altura y soportadas por aisladores porta barra.

#### **3.1.2 Aisladores**

Estos aisladores portabarras serán de uso interior de 0.75/500 emperados a ángulos soportes.

#### **3.1.3 Interruptor termomagnético general**

Conformidad a las normas : IEC 947 , VDE , NEMA

Tipo : caja moldeada

Numero de polos : 03

Protección térmica : regulable de 0.8 a 1 veces la  $I_n$

Protección magnética : regulable de 1.5 a 10 veces la  $I_n$

Capacidad de ruptura : 8 KA en 440V AC

#### **3.1.4 Interruptor termomagnético de electrobomba**

Idéntico al anterior.

### **3.1.5 Interruptor termomagnético de condensador**

Conformidad a las normas : IEC 947 ,VDE , NEMA

Tipo : caja moldeada

Numero de polos : 03

Capacidad de ruptura : 8 kA en 440VAC

### **3.1.6 Interruptor termomagnético de distribución**

Conformidad a las normas : IEC 947 ,VDE , NEMA

Tipo : tornillo

Número de polos : según el uso

Capacidad de ruptura : 10 kA en 220V AC

### **3.1.7 Contactor by-pass**

Conformidad a las normas : IEC 158-1,IEC 947, VDE 0660, NEMA

Grado de protección : IP 20 según VDE 0106

Temperatura ambiente : almacenamiento -60 a +80 oC

Altura de utilización : 1000 m.s.n.m

### **3.1.8 Arrancador estático de tecnología digital**

#### **a) Características de entorno**

Conformidad a las normas : IEC

Grado de protección mínimo : IP20

Resistencia a los choques : conforme con IEC68-2-27

Resistencia a vibraciones : conforme con IEC68-2-6

Temperatura ambiente : funcionamiento de 0 a 40oC sin desclasificación

almacenamiento de 25 a 70oC

Humedad relativa : 93% sin condensación ni goteo

Altura de utilización : 1000 m.s.n.m

#### **b) Características eléctricas**

Tensión de alimentación : 440-15% a 500+10% V AC

Frecuencia : 60HZ

Modo de arranque : rampa de tensión controlada( 0.5 a 60 seg.).

Visualización por led : funcionamiento normal, falla

Display digital : lectura de corriente, lectura de tensión, lectura de parámetros.

Teclado : para calibración de parámetros

Relés de salida : 1N.A+1N.C ( arranque/parada )

Protección electrónica integral : sobrecarga.

máxima / mínima tensión.

desbalance de fases.

secuencia de fases.

baja carga.

perdida de fase

### **3.1.9 Analizador de redes eléctricas**

#### **a) Características**

Alimentación : 110-480 V AC

Tensión nominal : 600 V AC

Intensidad nominal : 1 - 5 A

Display : triple pantalla

Tipo de pantalla : de alta luminosidad

Puerto de comunicación : RS 485

### **b) Medición**

- Tensión de línea o de fase
- Intensidad de línea
- Potencia activa, reactiva y aparente
- Factor de potencia
- Frecuencia
- Energía activa y reactiva

### **Interruptor horario**

Programación : 0-24 Hr

Reserva : 72 Hr

Alimentación : 220V-60HZ

Contacto : 1 N.C

Capacidad de contacto: 6A

### **Relé de retardo de arranque**

Rango : 1-5 Min.

Alimentación : 220V-60HZ

Contacto : 1 N.C

Capacidad de contacto : 6A

### **Selector manual -0-automático**

Norma : IEC 947-3

Posición : 1-0-2

Capacidad de contacto : 6A

### **Pulsadores**

Arranque

Parada

Capacidad : 6A

Voltaje : 500V

### **Lampara de funcionamiento**

Color : verde

Alimentación : 220V

### **3.2 Banco de condensadores**

Para compensar la energía reactiva en cada caseta de bombeo se instalarán condensadores trifasicos. Los condensadores consistirán de elementos de películas dielectricas de plástico metalizado, procesados al vacío los cuales conforman los electrodos del condensador y estarán encapsulados en resina termoestable o impregnadas por fluido dielectrico de baja toxicidad y biodegradable.

Los elementos condensadores así constituidos se alojaran dentro de cajas o tanques de plancha metálica de acero ,debiendo interconectarse para constituir unidades condensadoras trifasicas.

Las cajas o tanques serán rellenos con material de relleno no inflamable y no tóxico y sellados herméticamente.

La conexión exterior se efectuará mediante terminales., que afloran de la caja o tanque a través de bushings sellados con soldadura a la tapa. Los bushings serán de

porcelana y deberán garantizar máxima protección contra continuas pérdidas de fluido eléctrico.

Cada unidad condensadora llevará en sus terminales resistencias de descarga de valor fijo permanente, calculados para reducir el voltaje de sus terminales a menor de 50V, después de 3 minutos de haberse desconectado de la red. Asimismo, llevara un terminal para la conexión a tierra de la unidad

### **3.3 Puesta a tierra**

En lo que respecta al sistema de puesta a tierra, el proyecto considera la ejecución de lo siguiente

Implementación de pozos de tierra para

- Sistema de fuerza ( $R_{max} = 10 \text{ Ohm}$ )
- Neutro del transformador de subestación de distribución ( $R_{max} = 10 \text{ Ohm}$  )
- Sistema de control y telecomunicaciones (  $R_{max} = 5 \text{ Ohm}$  )

Los dos (02) primeros pozos con resistencia máxima de 10 Ohm y serán de 0.8m de diámetro x 2.6m de profundidad y se rellenará con tierra vegetal cernida y tratada con dosis electrolítica de puesta a tierra. Como electrodo central, se utilizará un electrodo de cobre de 5/8" de diámetro x 2.4 de longitud.

Para la sujeción del cable de tierra, se utilizarán conectores de bronce, de presión mediante pernos de bronce.

El pozo de tierra tendrá su tapa de concreto de 0.4 x 0.4 m para registro y mantenimiento del pozo se empleara mínimo dos dosis electrolíticas thor-gel o laborgel o similar para el pozo de tierra.



Los tableros de fuerza, distribución serán conectados al primer pozo de tierra ( $R= 10 \text{ Ohm}$  ) por medio de cables de cobre desnudo, temple blando, calibre indicado en planos.

El neutro del transformador de distribución de la subestación será conectado al segundo pozo de tierra (  $R= 10 \text{ Ohm}$  ) por medio de cable de cobre desnudo de temple blando y calibre de  $35\text{mm}^2$ .

Los tableros de control automático y equipamiento del sistema de radio serán conectados al 3er. Pozo de tierra ( $R= 5 \text{ Ohm}$ ) por medio de cable de cobre desnudo de temple blando y calibre indicado en planos.

### **3.4 Tablero de control automático**

#### **3.4.1 Controlador lógico programable ( P.L.C )**

##### **a) Características de entorno**

Conformidad a normas : IEC 664, IEC 1131-2

Temperaturas : funcionamiento 0 a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$

almacenamiento  $-25$  a  $+70 \text{ }^\circ\text{C}$

Higrometría : 5 a 95% sin condensación

Altitud : 1000 m.s.n.m

Resistencia a los choques : conforme con IEC68-2-27 pruebas EA.

Resistencia a las vibraciones : conforme con IEC68-2-6 pruebas FC

##### **b) Características eléctricas**

Alimentación : 220V AC/ 24V DC

Potencia total : 30 W

Aislamiento : 2000 / 50 Vef - 60HZ

##### **c) Características del procesador**

Comunicación : multicanal

Sistema operativo : tipo telecargable por disquete

RAM interna mínima : memoria integrada 20K palabras

programa 7.9K instrucciones

datos 2K palabras

ampliación 84K palabras

Flash eeprom : 15K palabras

Tiempo de ejecución mínimo : 0.15m seg / instrucciones

Lenguaje de programación : De acuerdo a norma IEC 1131-3 ( Ladder ,Grafeet y boleano)

Ambiente : Window 95

#### **d) Características de entradas y salidas**

Entradas analógicas : 05 de 4-20mA

Salidas de discretas : 04 tipo relé

Puerto RS-232 : Comunicación con sistema de radio

Puerto RS-485 : Comunicación con analizador de redes

Puerto RS-232 : Programación local

Protocolo de comunicación : Modbus ,Jbus,Uni telway , según norma. internacional FIP

#### **3.4.2 Radio modem**

Rango de frecuencia : 930 - 950 Mhz

Separación entre canales :12 Khz

Impedancia de entrada : 50 Ohm

Banda : UHF y VHF

Modulación : digital

Velocidad modem : 2400 bps con alta velocidad de conmutación

Velocidad de conexión con terminal de datos : de 300 a 19200 bps

Protocolo : estándar ( ModBus )

Comunicaciones : punto a punto y multipunto

Puertos : RS-232 y RS-485 a 2 hilos, con detección automática de conexión

Rango de temperatura : - 25 a 55 C

Potencia de salida : 3 W

Radiaciones parásitas y espúreas : Según norma R.D 2255/1994

Máxima distorsión : 3%

Rechazo canal adyacente : 70 dB

Sensibilidad : < - 116 dBm (12 SINAD)

Rechazo a margen : > 80 dB

Velocidad modem : 2400 bps con alta velocidad de conmutación

Velocidad de conexión con terminal de datos : de 300 a 19200 bps

Comunicaciones : punto a punto y multipunto

Puertos : RS-232 y RS-485 a 2 hilos, con detección automática de conexión

Alimentación : 220V AC / 24V DC

### **3.4.3 Display de medición**

Tipo : digital

Dígitos : 3 enteros

1 decimal

Entrada : 4-20mA

Alimentación : 220VAC

Factor de lectura : Programable

### **3.4.4 Estabilizador de tensión**

Entrada : de 180-250 V AC

Salida : 220V AC

Frecuencia : 60HZ

Potencia : 1000 VA

### **3.4.5 Batería**

Tipo : Ni-Cd

Amp-Hora : 5

### **3. 5 Tablero de transmisión de datos**

#### **3.5.1 Unidad transmisora por radio de señales analógicas**

Protocolo de comunicación : estándar ( ModBus)

Comunicación : punto a punto ó multipunto

Alimentación : 220VAC/ 24VDC

Radio modem : Integrado de alta velocidad y gran alcance

#### **Características de entradas y salidas**

Entradas analógicas : 02 de 4-20mA

Puerto RS-232 : configuración remota

#### **3. 5.2 Batería**

Idem. a tablero de control automático

#### **3. 5.3 Estabilizador**

Idem. a tablero de control automático

#### **3. 5.4 Display**

Idem. a tablero de control automático

### **3.6 Sensores de nivel**

#### **Transductor de presión con salida analógica para medición de nivel**

Presión de operación : 10 PSI ( reservorio R5 )

15 PSI ( reservorio R4 )

150 PSI ( Pozos )

Sobrepresión : 4x presión de operación

Voltaje de excitación : 9-30 VDC

Salida : analógica de 4-20mA

Temperatura de operación : -20°C a 60°C

Protección : NEMA 6 ( IP68 )

Aislamiento : 100M Ohm a 500VDC

### **3.7 Para el sistema de funcionamiento por telemetría**

#### **3.7.1 Estructura para antena**

Es una estructura metálica capaz de soportar la instalación de una antena, deberá tener una altura adecuada de acuerdo a la zona, de acuerdo a las recomendaciones del proveedor del sistema, deberá contar con los elementos de fijación y anclaje a la estructura, templadores con cable de acero y regulados con rosca.

#### **3.7.2 Antena**

Tipo : Omnidireccional

Direccional

Rango de frecuencia : 930 - 950 MHZ

Ancho de banda : 20 MHZ

Impedancia : 50 Ohm

Ganancia : 3 dB

Relación delante /atrás : 20 dB

Potencia máxima : 3 W

Carga al viento : 6 KP a 1150 km/h (aprox. dependiendo de la ganancia)

Material : aluminio electrosoldado.

#### **3.7.3 Cable de RF RG 213**

Impedancia : 50 Ohm

Conductor : Cobre

Dieléctico : Polietileno

Pantalla : Cobre

Cubierta : PVC

Diámetro : 10.3 mm.

Atenuación a 100 MHz : 7 dB/100 m.

Atenuación a 400 MHz : 14 dB/100 m.

### **3.7.4 Cable de RF Celleflex**

Impedancia : 50 Ohm

Conductor : Cobre

Dieléctico : FAOM

Pantalla : Cobre (helicoidal)

Cubierta : PVC

Atenuación a 100 MHz : 1.05 dB/100 m.

Atenuación a 400 MHz : : 3.44 dB/100 m.

### **3.7.5 Instalación de la antena**

#### **a) Instalación Física**

Deben considerarse las siguientes normas generales:

Una antena debe instalarse alejada de cualquier pared, tejado, árbol, etc. a una distancia como mínimo igual al doble de su longitud.

Siempre que sea posible deberá evitarse la cercanía a tendidos eléctricos.

Debe instalarse de forma que no haya en sus proximidades edificios y obstáculos en la dirección al equipo receptor. Si esto no es posible, se deberá intentar aumentar la altura de la misma.

Si se usan vientos metálicos para la sujeción del mástil de la antena, estos deberán quedar por debajo de la antena una distancia como mínimo dos veces la longitud de la misma.

Deberán evitarse tendidos largos de cable de antena. Por cada 25 m. de tendido se pierde la mitad de la potencia.

Siempre que haya un solo receptor deberá emplearse una antena directiva tipo YAGI.

Si hay más de un receptor, se empleará una antena tipo omnidireccional.

Las antenas YAGI se instalarán en posición horizontal y encaradas al receptor.

Dependiendo de las condiciones climáticas de la zona, se deberá elegir tanto el grosor del mástil como la instalación de vientos y su número.

### **b) Instalación Eléctrica de la Antena**

Para el tendido se usará cable de antena de tipo RG-213 de 50 Ohmios de buena calidad. El cable se terminará en ambos extremos con conectores tipo PL-259. Es muy importante que la conexión del cable con los conectores este bien realizada. Debe señalarse que las corrientes de radiofrecuencia no se comportan como las corrientes alternas 60 Hz o continuas. Por el contrario, es importante no solo una buena conexión eléctrica sino, y además, una buena simetría de la misma (por ejemplo, no esta permitida la realización de empalmes a modo tradicional).

La conexión en el lado de la antena se hará en el conector hembra tipo SO-239 que está incorpora. La conexión en la unidad de radio se hará en el conector hembra tipo SO-239 situado en la parte superior del equipo.

## **3.8 Electroductos de PVC**

### **3.8.1 Propiedades físicas**

Serán construidos en PVC rígido de acuerdo a las normas elaboradas por indecopi. Además deberán ser totalmente incombustible,

Los accesorios como:

Curvas, uniones tubo a tubo, uniones tubo a caja de pase o tableros, serán de mismo unilateral que el de la tubería.

Las curvas serán de fabrica las uniones tendrán una campana en cada extremo en un extremo y sombrero en otro para adaptarse a las paredes interiores de la caja.

### **3.8.2 Pegamento**

Se empleará pegamento a base de PVC

### **3.8.3 Cajas**

Todos los empalmes de la instalación se efectuarán con cajas metálicas de fierro galvanizado pesado sing - grip o similar de 1.5 mm de espesor de dimensiones indicadas en los planos. Las tapas serán del mismo material y se fijaran empernadas. Todas las cajas estarán previstas de fabrica con perforaciones ciegas (knock - outs) en los cuatro lados.

Cuando las cajas se instalen en áreas expuestas a la intemperie, las tapas estarán provistas con empaquetadura de neoprene. Así mismo todos los Knock - Outs y conexiones de tuberías a la caja deberán ser debidamente sellados para evitar el ingreso de humedad.

### **3.9 Conductores eléctricos**

Todos los conductores de alimentación (alimentadores) al tablero general y los demás tableros y motores serán de cobre con forro de material termoplástico tipo THW y serán de las secciones indicadas en planos.

El cableado en general deberán satisfacer los siguientes requisitos básicos:  
Antes de proceder al cableado se limpiarán y secarán los tubos y se barnizaran las cajas para facilitar el paso de los conductores, se empleará talco o estearina, no debiendo usarse grasas o aceites.

Los conductores serán continuos de caja a caja, no permitiéndose empalmes que queden dentro de las tuberías.



Cuando sea necesario ejecutar empalmes en los alimentadores estos se harán soldados o con grapas o con terminales de cobre, protegiéndose y aislándose debidamente.

Dichos empalmes se ejecutarán en las cajas y serán eléctrica y mecánicamente seguros protegiéndose con cinta aislante y/o cinta de jebe.

El alimentador de las electrobombas sumergibles tendrán aislante resistente al agua ya que están sumergidas en ella.

### **3.10 Subestación de distribución de 160KVA-10KV/0.460KV-60HZ.**

Estructura de concreto armado biposte de 11 ó 13 mt.

Transformador de distribución con potencia normalizada (CNE IV-tabla 3-X ).

160KVA

10KV/0.46KV

$V_{cc}=6.2\%$

$3\phi$

Ydn5

#### **Lado de M.T :**

Seccionador unipolar tipo intemperie, con base unipolar (cut out) de fusible.

Tensión nominal : 10KVA

Corriente nominal : 200A

Línea de fuga de aislador : 13pulg

Fusible de expulsión tipo K ANSI

Tensión nominal : 10KA

Corriente nominal : 50A

Capacidad de interrupción asim.: 10KA

**Lado de B.T :**

**Conductor :** 3x50mm<sup>2</sup> NYY+1x35mm<sup>2</sup> - $\phi$ 50mm. PVC-SAP.

**Seccionador fusible** ( para fusible tipo NH ).

Tensión nominal : 500V

Corriente nominal : 250A

**Fusible NH**

Tensión nominal : 500V

Corriente nominal : 250A

Capacidad de interrupción asim.: 200KA

### **3.11 Subestación de distribución de 50KVA-10KV/0.230KV-60HZ**

Estructura de concreto armado biposte de 11 ó 13 mt.

Transformador de distribución con potencia normalizada (CNE IV-tabla 3-X).

50KVA

10/0.23KV

Vcc = 5.2 %

3x $\phi$

Yd5

Lado de M.T

Seccionador unipolar tipo intemperie, con base unipolar (cut out) de fusible.

Tensión nominal : 10KVA

Corriente nominal : 200A

Línea de fuga de aislador : 13pulg

Fusible de expulsión tipo K ANSI :

Tensión nominal : 10KA

Corriente nominal : 50A

Capacidad de interrupción asim.: 10KA

Lado de B.T :

**Conductor** : 3x25mm<sup>2</sup> NYY+1x16mm<sup>2</sup> - $\phi$ 35mm. PVC-SAP

Seccionador fusible ( para fusible tipo NH )

Tensión nominal : 500V

Corriente nominal : 150A

Fusible NH

Tensión nominal : 500V

Corriente nominal : 125A

Capacidad de interrupción asim.: 100KA

### 3.12 Costo de tableros de fuerza y automatización

#### 3.12.1 Tableros de fuerza

DESCRIPCION	P. UNIT. (\$)	CANT.	PRECIO (\$)
Para pozos	5500	2	11000
Para rebombeo	4800	1	4800
		sub-total	15800

#### 3.12.2 Tableros de automatización

DESCRIPCION	P. UNIT. (\$)	CANT.	PRECIO (\$)
Central	2800	1	2800
Esclavo( C.T )	2200	2	4400
Esclavo( T )	1800	1	1800
		sub-total	9000

#### 3.12.3 Tableros de distribución

DESCRIPCION	P. UNIT. (\$)	CANT.	PRECIO (\$)
Pozos ( 12 polos )	100	2	200
Reservorios ( 8 polos )	75	2	150
		sub-total	350

### 3.13 Costo de equipamiento para sistema de radioenlace

#### 3.13.1 Antenas

DESCRIPCION	P. UNIT. (\$)	CANT.	PRECIO (\$)
Direccional (Yagui)	190	3	570
Omnidireccional	250	1	250
		sub-total	820

### 3.13.2 Torres

DESCRIPCION	P. UNIT. (\$)	CANT.	PRECIO (\$)
torre de 6 mt	150	3	450
torre de 13 mt	300	1	300
		sub-total	750

### 3.13.3 Cable coaxial

DESCRIPCION	P. UNIT/mt. (\$)	CANT (mt)	PRECIO (\$)
tipo CELLEFLEX	4	60	240
Accesorios	25	4	100
		sub-total	750

### 3.14 Costo de sensores y medidores

DESCRIPCION	P. UNIT. (\$)	CANT.	PRECIO (\$)
Transductor de nivel con cable=70 mt	1000	2	2000
Transductor de nivel con cable=15 mt	900	3	2700
Sensor de presión con salida analogica de 4-20mA	800	3	2400
Medidor de caudal con salida analogica de 4-20mA	1200	3	3600
		sub-total	10700

### 3.15 Costo de programas ( software )

DESCRIPCION	P. UNIT. (\$)	CANT.	PRECIO (\$)
Software de programación (PLC)	2000	1	2000
Software de sistema SCADA	2500	1	2500
		sub-total	4500

### 3.16 Costo de instalación eléctrica, pruebas y puesta en marcha

#### 3.16.1 Mano de obra

DESCRIPCION	P. UNIT. (\$)	CANT.	PRECIO (\$)
Montaje de torres, instalación de antenas	160	4	640
Instalación eléctrica de fuerza y control	250	3	750
Instalación eléctrica menor	50	4	200
Pruebas y puesta en marcha	300	1	300
		sub-total	1890

#### 3.16.2 Conductores eléctricos

DESCRIPCION	SECCION(m m2)	P. UNIT/mt(\$)	CANT(Mt)	PRECIO (\$)
Cable NYY	3x50	10.85	20	217
Cable NYY	3x25	6.2	20	124
Cable desnudo(Cu)	1x35	3.1	20	62
Cable desnudo(Cu)	1x16	1.62	20	32.4
Cable THW	4	0.22	200	44
Cable THW	6	0.33	80	26.4

Cable THW	10	0.53	100	53
Cable THW	16	0.81	75	60.75
Cable THW	35	1.89	50	94.5
Cable THW	70	4.12	130	535.6
Cable RHW	70	5.1	350	1785
Alambre THW	4	0.22	200	44
			sub-total	3078.65

### 3.16.3 Ductos y cajas

DESCRIPCION	DIAMETRO (mm <sup>2</sup> )	P. UNIT/3mt(\$)	CANT(Mt)	PRECIO (\$)
Tubo PVC-SAP	50	5.41	80	144.3
Tubo PVC-SAP	35	3.26	40	43.5
Tubo PVC-SAP	25	2.49	40	33.2
Tubo PVC-SAP	20	1.89	150	94.5
			sub-total	315.4

DESCRIPCION	DIAMETRO (mm)	P. UNIT (\$)	CANT(Mt)	PRECIO (\$)
CURVA-SAP	50	3.04	20	60.8
CURVA-SAP	35	1.66	25	41.5
CURVA-SAP	25	0.76	25	19.0
CURVA-SAP	20	0.54	30	16.2
			sub-total	137.5

DESCRIPCION	MEDIDA (mm <sup>2</sup> )	P. UNIT (\$)	CANT(mt)	PRECIO (\$)
CAJA DE PASE	150x150x75	8	15	120.0
CAJA DE PASE	100x100x50	6.5	20	130.0
CAJA DE PASE	200x200x100	12	10	120.0
			sub-total	370.0

### 3.16.4 Subestación de distribución

DESCRIPCION	P. UNIT(\$)	CANT	PRECIO(\$)
160KVA	7200	2	14400
50KVA	2400	1	2400
		sub-total	16800

### 3.16.5 Pozo de tierra

DESCRIPCION	P. UNIT(\$)	CANT	PRECIO(\$)
10 Ohm	200	6	1200
5 Ohm	600	4	2400
		sub-total	3600

### 3.16.6 Equipo eléctrico general

DESCRIPCION	POT.( W )	P.UNIT(\$)	CANT.	PRECIO(\$)
Lumin.+Floures.	2x20	12	10	120
Lumin.+Floures.	1x20	8	8	64
Tomacorriente (doble)		1.45	15	21.75
Interruptor (doble)		0.87	6	5.22
Interruptor (simple)	600	0.63	6	3.78
			sub-total	214.75

### 3.17 Costo total del proyecto

DESCRIPCION	PRECIO (\$)
Tableros de fuerza	15800
Tableros de automatización	9000
Tableros de distribución	350
Antenas	820
Torres	750
Cable coaxial	750
Sensores y medidores	10700
Software	4500
Mano de obra	1890
Conductores eléctricos	3078.65
Ductos y cajas	822.9
Subestaciones de distribución	16800
Pozos de tierra	3600



Equipo eléctrico general	214.75
-----------------------------	--------

Total	68666.3 + IGV
-------	------------------

## CONCLUSIONES

Se ha desarrollado el proyecto del sistema de fuerza y control automático para el mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable el Trebol . Para tal fin se ha realizado el diseño de los circuitos de fuerza , control y comunicaciones con tecnología de punta , en remplazo de técnicas obsoletas lograndose un funcionamiento eficiente , economico y confiable en el sistema de bombeo y rebombeo de agua potable del TREBOL . Además , se tendra ahorro de económico por cuanto el equipamiento electrónico que remplaza al antiguo equipamiento electromecanico no requerira de gastos en mantenimiento , ni gastos en repuestos , etc.

También se ha modernizado el sistema de medición , se ha incluido el telecontrol y telemedición , empleando transmisión via radio modem , PLCs sistema SCADA y instrumentos de medición electrónica modernos. Lográndose establecer un subsistema , que en el futuro se enlazará al sistema integral de SEDAPAL con centralización en la ATARJEA.

Finalmente , todo este esfuerzo de modernización permitirá cumplir con los requerimientos de demanda en volúmen de agua , calidad y en la forma más económica posible

## BIBLIOGRAFIA

1. GUALDA MARTINEZ : Electrónica industrial, editorial Marconbo , segunda edición , 1995 .
2. GUTHMANN POHLMANN : Manual de instalaciones de distribución de energía eléctrica, editorial Brown Boveri, primera edición , 1983.
3. FITZGERALD KINGSLEY : Teoría y análisis de las máquinas eléctricas , editorial Hispano Europea, segunda edición , 1980.
4. FREEMAN : Ingeniería de sistemas de telecomunicaciones , editorial Limusa , sexta edición , 1997 .
- 5.- CONNOR : Antenas .
- 6.- F.E. Evdokimon : Fundamentos teóricos de la electrónica , editorial Pueblo y educación , segunda edición , 1985 .
- 7.- SIEMENS : Instalaciones eléctricas , editorial Gunter G. Seip , segunda edición , 1989 .