



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES.**

***“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero en  
Electrónica y Telecomunicaciones”***

**MODALIDAD: TESIS**

***DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA DE DUCTOS DE AGUA  
POTABLE PARA LA CIUDAD DE RIOBAMBA.***

***Autores:***

***Danny Absalón Guevara Freire  
Franco Patricio García Solano***

***Director de Tesis: Ing. Jorge Delgado***

***Riobamba: Mayo de 2011***

## **CALIFICACIÓN**

**Los miembros del tribunal, luego de haber receptado la Defensa de trabajo escrito, hemos determinado la siguiente calificación.**

**Para constancia de lo expuesto firman:**

**Ing. Daniel Santillán**

-----

**Asesor del Proyecto de Tesis**

**Firma**

**Ing. Jorge Delgado**

-----

**Director del Proyecto de Tesis**

**Firma**

**Ing. Geovany Cuzco**

-----

**Presidente del Tribunal**

**Firma**

## ***DERECHO DE AUTOR***

Nosotros, Danny Absalón Guevara Freire y Franco Patricio García Solano somos responsables de las ideas, doctrinas, resultados y propuestas expuestas en el presente trabajo de investigación y los derechos de autoría pertenecen a la Universidad Nacional de Chimborazo.

## ***DEDICATORIA***

A Dios y su infinito amor fuente inigualable de fe, perseverancia y sabiduría, a mis Padres Gladys y Absalón por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera, y a mi familia toda, que con sus palabras supieron alentarme en momentos difíciles, con cariño dedico el presente trabajo.

## ***DEDICATORIA***

A Dios quien guio mis pasos en todo momento, al ser más hermoso que existe, mi madre, quien me dio su apoyo en el transcurso de toda mi carrera, además a mis hermanos que son mi fuente de inspiración para poder lograr mis objetivos planteados.

## ***AGRADECIMIENTO***

Agradecemos a la Universidad Nacional de Chimborazo por habernos acogido en sus aulas y a nuestros maestros que nos ofrecieron sus conocimientos y formaron por el camino del bien para brindarnos la oportunidad de ser dignos representantes de nuestra noble institución, agradecemos también a EMAPAR por extendernos su colaboración para realizar la presente investigación.

## INDICE

INDICE DE CUADROS	i
INDICE DE GRAFICOS	ii
RESUMEN	iii
SUMARY	iv
INTRODUCCION	
CAPITULO I	
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Formulación del problema.....	1
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 General.....	3
1.3.2 Específicos.....	3
1.4 Justificación.....	5
CAPITULO II	
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Fundamentación Teórica.....	6
2.2.1 Monitoreo mediante NI LabView® & NI Compact Field Point.....	6
2.2.2 Estándar de comunicación inalámbrica ZigBee (IEEE 802.15.4).....	9
2.2.3 Ejemplos de aplicaciones ZigBee.....	10
2.2.4 Por qué elegir ZigBee.....	10
2.2.5 Perfil de aplicación Publica.....	11
2.2.6 Puntos técnicos sobresalientes del estándar ZigBee (802.15.4).....	11
2.2.7 Métodos utilizados por la tecnología ZigBee para lograr bajo consumo de energía.....	12
2.2.8 vida útil de baterías en módulos ZigBee.....	12
2.2.9 ZigBee frente a las interferencias y la convivencia en la banda de 2,4 GHz.....	13
2.3 Sistemas de medida inalámbricos NI WSN.....	13
2.4 Despliegue de información.....	16
2.5 Adquisición de datos.....	17

2.5.1	Adquisición de datos de temperatura mediante termopares.....	18
2.5.2	Adquisición de datos de corriente y voltaje.....	21
2.5.3	Transformadores de núcleo dividido vs. núcleo sólido.....	21
2.5.4	Integración de niveles de salida con sistemas de medición.....	23
2.5.5	Adquisición de datos de caudal (caudalímetro electromagnético).....	24
2.5.5.1	Recomendaciones de Instalación..	28
2.5.5.2	Posicionamiento del sensor.....	28
2.5.5.3	Sensor y ruido eléctrico.....	30
2.5.5.4	Instalación de la sonda sensora...	30
2.5.5.5	Montaje remoto del convertidor de señales.....	30
2.5.5.6	Anillo de tierra y empaques.....	30
2.5.5.7	Conexiones convertidor/transmisor.	30
2.5.5.8	Procedimientos de instalación.....	31
2.5.5.9	Revisión y Mantenimiento Básico..	31
2.5.5.10	Ventajas y desventajas de este tipo de medidores.....	32
2.6	Análisis y diseño de enlaces de microondas.....	33
2.6.1.-	Cálculo de los parámetros del enlace.....	35
2.6.1.1	Pérdida en la trayectoria de espacio libre [lp].....	35
2.6.1.2	Pérdidas por lluvia.....	36
2.6.1.3	Pérdidas por Vegetación.....	37
2.6.1.4	Ganancia de las antenas.....	38
2.6.1.5	Margen de Desvanecimiento.....	39
2.6.1.6	Potencia de ruido a la entrada del receptor.....	40
2.6.1.7	Umbral del receptor, o sensibilidad del receptor.....	40
2.6.1.8	Potencia del transmisor.....	41

2.6.1.9	Altura de las torres.....	41
2.6.1.10	Fiabilidad del Enlace.....	42
2.6.1.11	Diversidad en Espacio.....	43
2.6.1.12	Diversidad en Frecuencia.....	45
2.6.1.13	1+1 Hot Stand By.....	46
2.6.2.-	Tecnologías para el establecimiento de enlaces de microondas de alta fiabilidad.....	47
2.6.2.1	Tecnología SDH, Synchronous Digital Hierarchy (jerarquía digital sincrónica).....	47
2.6.2.2	SDH: principios básicos.....	47
2.6.2.3	SDH: Formación y estructuras multiplex.....	48
2.6.2.4	SDH: capacidad de canales.....	49
2.6.2.5	PDH: Plesynchronous Digital Hierarchy (Jerarquía Digital Plesincrónica).....	50
2.6.2.6	Niveles Jerárquicos.....	51
2.7	Control automático basado en tecnología Fuzzy Logic (Logica Difusa).....	53
2.7.1	Consideraciones generales sobre lógica difusa.	53
2.7.2	Sistemas difusos.....	53
2.7.3	Funciones de membresía.....	54
2.7.4	Establecimiento de reglas.....	54
2.7.5	Controladores difusos.....	55
2.7.6	Fuzzyficación.....	56
2.7.7	Implementando una estrategia de control lingüística.....	56
2.7.8	Defuzzificación.....	57
2.7.8.1	Centro de área (CoA).....	57
2.7.8.2	Centro de área modificado (mCoA).	58
2.8	Motores eléctricos.....	59
2.8.1	Constitución del motor asíncrono de inducción.	60
2.8.2	Principio de funcionamiento.....	61
2.8.3	Motores asíncronos trifásicos.....	62
2.8.4	Tensiones e intensidades en el estator de los	

motores trifásicos (Conexión Estrella-Triángulo).....	62
2.8.5 Motor de Rotor en cortocircuito.....	64
2.8.6 Arranque estrella-triángulo.....	65
2.9 Protección de motores eléctricos.....	68
2.9.1 Alteraciones del suministro eléctrico.....	68
2.9.1.1 Suministro eléctrico.....	68
2.9.1.2 Desbalance de Voltaje.....	69
2.9.1.3 Perdida de una fase.....	71
2.9.1.4 Inversión de secuencia.....	72
2.9.1.5 Bajo voltaje y sobre voltaje.....	72
2.10 Protegiendo motores trifásicos.....	73
2.10.1 Relés térmicos de sobrecarga.....	74
2.10.2 Protecciones por falla de voltaje.....	75
2.10.3 Relés electrónicos de sobrecarga.....	76
2.10.4 Relés integrales de protección.....	77
2.10.5 Relés de protección total.....	78
CAPITULO III	
3. Marco Metodológico.....	79
3.1 Desarrollo del trabajo.....	79
3.1.1 Estudio del enlace radioeléctrico Campo de pozos dirección Aereadores y Aereadores dirección EMAPAR.....	79
3.1.2 Ingenierías para el enlace microonda campo de Pozos dirección Aereadores .....	85
3.1.3 Altura requerida para colocación de antenas.	85
3.1.4 Ingenierías de valores de campo y umbral.....	86
3.1.5 Perfil topográfico y trayectoria de señal.....	88
3.1.6 Ingenierías para el enlace microonda EMAPAR dirección Aereadores.....	89
3.1.7 Altura requerida para colocación de antenas.	89
3.1.8 Ingenierías de valores de campo y umbral....	90
3.1.9 Perfil topográfico y trayectoria de señal.....	92
3.1.10 Distribución de los sistemas WSN en el campo de pozos de la EMAPAR (Llio).....	93

3.1.11	Requisitos de equipos para la implementación de los enlaces radiales.....	97
3.2	Sistema de monitoreo de caudales y control de válvulas.....	101
3.3	Software desarrollado.....	101
3.3.1	Monitoreo de caudales.....	102
3.3.2	Control automático de válvulas basado en tecnología Fuzzy Logic (Logica Difusa).....	112
3.3.2.1	Diseño del sistema difuso mediante el complemento Fuzzy System Designer.....	112
3.3.2.2	Creación de variables lingüísticas.....	113
CAPITULO IV		
4.	Presentación de resultados.....	118
4.1	Resultados obtenidos.....	118
CAPITULO V		
5.	Conclusiones y Recomendaciones.....	120
5.1	Conclusiones.....	120
5.2	Recomendaciones.....	122
	Bibliografía.....	123
	Anexos.....	124

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1	
Sistema Compact Field Point.....	7
Figura 2	
Módulos de Expansión del Sistema Compact Field Point.	8
Figura 3	
Ethernet Gateway.....	14
Figura 4	
Nodo de Medida de Entrada Analógica de Cuatro Canales, 16 Bits, $\pm 10$ V.....	15
Figura 5	
Nodo de Medida de Entrada de Termopares de 4 Canales, 24 Bits.....	15
Figura 6	
Integración de los Nodos NI WSN con el Software NI LabView®.....	17
Figura 7	
Vaina de Termopar.....	20
Figura 8	
Transformadores de Corriente de Núcleo Dividido.....	22
Figura 9	
Transformadores de Corriente de Núcleo Sólido.....	22
Figura 10	
Despiece de un Caudalímetro Electromagnético.....	25
Figura 11	
Caudalímetros Electromagnéticos.....	26
Figura 12	
Partes que conforman un Macromedidor.....	27
Figura 13	
Posición horizontal del sensor.....	28
Figura 14	
Posición vertical del sensor.....	29
Figura 15	
Distancia preventiva desde un codo a un sensor.....	29

Figura 16	
Esquema en bloques de un Radioenlace.....	34
Figura 17	
Reflector Parabólico.....	38
Figura 18	
Altura de las antenas para librar el radio de curvatura de la tierra.....	41
Figura 19	
Diversidad en Espacio.....	44
Figura 20	
Diversidad en Frecuencia.....	45
Figura 21	
Esquema Hot Stand By.....	46
Figura 22	
Contenedor Virtual.....	49
Figura 23	
Procesos de un Controlador Difuso.....	55
Figura 24	
Estator y rotor de motor eléctrico.....	24
Figura 25	
Sección de motor eléctrico.....	61
Figura 26	
Conexión estrella.....	63
Figura 27	
Conexión triángulo.....	63
Figura 28	
Conexión estrella y triángulo en bornera de motor.....	63
Figura 29	
Bornera de motor trifásico.....	64
Figura 30	
Distribución típica de bobinados.....	64
Figura 31	
Interruptores trifásicos para distintas intensidades.....	65
Figura 32	

Arranque directo de motor trifásico de forma manual.....	65
Figura 33	
Arranque estrella-triángulo de motor trifásico.....	66
Figura 34	
Arrancador manual estrella-triángulo.....	67
Figura 35	
Ondas de tensión sinusoidales.....	69
Figura 36	
Desbalance de voltaje.....	69
Figura 37	
Desbalance de voltaje.....	70
Figura 38	
Pérdida de potencia producida por desbalance de voltaje.	71
Figura 39	
Pérdida de fase y regeneración a partir de carga.....	72
Figura 40	
Topografía del terreno donde se instalarían los Radioenlaces.....	80
Figura 41	
Vista topográfica en relieve de las ubicaciones de las torres.....	81
Figura 42	
Enlace, CAMPO DE POZOS dirección AEREADORES....	83
Figura 43	
Enlace, AEREADORES dirección EMAPAR.....	84
Figura 44	
Perfil Topográfico AEREADORES-CAMPO POZOS.....	88
Figura 45	
Multi trayectoria de Señal.....	88
Figura 46	
Perfil Topográfico AEREADORES EMAPAR.....	92
Figura 47	
Multi trayectoria de Señal.....	92
Figura 48	

Pequeña elevación que separa la vertiente San Pablo del Campo Pozos.....	94
Figura 49	
Disposición de los pozos en el Campo de Pozos San Pablo tras la elevación.....	94
Figura 50	
Red WSN de adquisición de Datos.....	95
Figura 51	
Enlaces requeridos.....	96
Figura 52	
Radio SIAE ALC PLUS.....	99
Figura 53	
ODU Principal y ODU Secundaria acoplada a su antena..	100
Figura 54	
Pantalla principal de RIOMONITOR.....	102
Figura 55	
Pantalla principal de RIOMONITOR en funcionamiento...	104
Figura 56	
Pozo 1 alarmado.....	105
Figura 57	
Vertiente San Pablo alarmada.....	105
Figura 58	
Monitoreo de Pozo 1.....	106
Figura 59	
Orígenes de Datos ODBC desde entorno Windows.....	108
Figura 60	
Enlace de DB con driver propietario mdb en entorno Windows.....	108
Figura 61	
Fichero UDL de enlace entre DB y Labview®.....	109
Figura 62	
NI LabVIEW Database Connectivity ToolKit, integrado a LabView®.....	109
Figura 63	

Conexión de RIOMONITOR con DB.....	110
Figura 64	
Consulta realizada a la Base de Datos de Pozo 1.....	111
Figura 65	
Fuzzy System Designer.....	112
Figura 66	
Interface del Diseñador de Sistemas Difusos.....	113
Figura 67	
Variable Lingüística de Entrada Temperatura de Bomba.	115
Figura 68	
Variable Lingüística de Entrada Nivel Freático.....	115
Figura 69	
Variable Lingüística Posición de Válvula.....	116
Figura 70	
Matriz difusa resultante.....	117
Figura 71	
Conjunto de Reglas generadas para el controlador difuso.....	117

## RESUMEN

En la actualidad la empresa municipal de agua potable y alcantarillado (EMAPAR) opera con un sistema de monitoreo de caudal manual en la cual una cuadrilla de empleados de la misma tiene que trasladarse hasta el campo de pozos para recolectar datos de caudales para poder medirlos mediante la técnica denominada “aforación”, esta se basa en cronometrar mentalmente el tiempo que se necesita para llenar un recipiente de medida a fin de poder obtener una mediada aproximada del caudal que entrega un pozo determinado. La principal desventaja de este método radica en la necesidad de tener varias personas movilizándose por el campo de pozos obteniendo estas mediciones. De igual manera la cantidad de agua que se va a transportar por la tubería es controlada por sendas válvulas que son manipuladas de manera manual.

Pensando mejorar estos servicios, incorporar tecnología de comunicaciones de vanguardia es de vital importancia, pues los avances en estos campos pueden ser encaminados a transformar estos procesos tediosos y cansinos en un simple click, para llevar a cabo este objetivo se ha pensado realizar un sistema de monitoreo basado en LabView® con un sistema de obtención de datos inalámbrico basado en tecnología ZigBee® con el objetivo de ser desplegada de manera rápida y aprovechando pequeños espacios disponibles que permitan conocer los detalles de operación de los sistemas de bombeo y los caudales presentes en cada uno de los pozos todo esto en tiempo real visualizado en una estación lejana como las oficinas de EMAPAR en la ciudad de Riobamba mediante un sistema de enlace radial, la eficacia del sistema se basa en la precisión que los sistemas mencionados pueden lograr y la robustez de LabView® como plataforma de monitoreo y futura implementación de un sistema sofisticado de control mismo que es introducido en el presente trabajo mediante sistemas de control difusos, visualicemos de esta forma una sencilla pero potente interface grafica donde podemos condensar toda esta valiosa información que se origina de manera remota, si a este sistema le brindamos capacidades de almacenado de información tendremos un potente sistema que puede mejorar significativamente los índices de eficiencia de la estación monitoreada.

## **SUMARY**

At present the municipal water and wastewater (EMAPAR) operates with a flow monitoring system manually in which a team of employees of the same to be transported to the site to collect data from both the inlet flow and exit of each tank, plus the distribution is done by manipulating the distribution valves, using force to spin the wheel to open or close depending on the desired distribution. For this problem has been designed to implement a system for monitoring and controlling the sources of supply of potable water system to allow real time knowledge of the state of operation of the wells, tanks and booster, controlled and monitored from a distant station that happens in the system of water distribution and access to information through the Intranet and Internet. This system is effective because accurate data is obtained which is monitoring and controlling the software and is responsible for storing all that information. The equipment to use are the National Instruments and other equipment based on WSN technology, as well as for the design of software using LABVIEW 9 it is my practice to use and accurate monitoring and control.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de la monitorización de los sistemas de distribución, es tener un sistema de volcado de información de los distintos pozos y vertientes que conforman el sistema de captación de la Empresa Municipal de Agua Potable de la ciudad de Riobamba, información que sin lugar resulta de vital importancia para tomar las mejores decisiones en cuanto a la gestión del campo de pozos se refiere, decisiones que deben ser oportunas orientadas a mejorar la operación, corregir fallas, y por consecuencia mejorar la calidad del servicio prestado a los usuarios y su consecuente reducción de costos.

El monitoreo de los dinámicos parámetros presentes en un campo de pozos por ejemplo brinda la posibilidad de intervenir en tiempo real para controlar eventos, al monitorear las variables críticas en este caso particular: caudales presentes en pozos, niveles de pozos, así como temperaturas, voltajes y corrientes serian las pautas iniciales de un futuro sistema de control más robusto que sale de los alcances del presente trabajo de investigación, aunque las pautas necesarias para llegar hacia este objetivo son mostradas de manera clara en este documento mediante la integración del sistema de monitoreo con un sistema de control difuso. Se constituyen de esta manera dichas variables censadas en la espina dorsal de un sistema de monitoreo y en base a sus valores de un futuro sistema de control de o de los campos de pozos que podría llegar a tener la Empresa Municipal de Agua Potable de Riobamba.

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Riobamba (EMAPAR) es un organismo descentralizado el cual tiene como objetivo proveer el servicio de agua potable y alcantarillado para el municipio. La ciudad de Riobamba se ubica en la región central del país y cuenta con 32.917 usuarios, de los cuales el 73,46% tienen instalados medidores, por lo tanto 8.735 disponen de acometidas directas. Cuenta con 8 pozos, 1 tanque recolector y 12 tanques de reserva ubicados en el sector de la Saboya militar, el Carmen, San José de Tapi como también en el sector del colegio Maldonado.

En la actualidad algunas de las instalaciones cuentan con un control básico de arranque y paro en el sitio y la información de la cantidad de agua extraída (Flujo instantáneo y totalizado).

Las variables eléctricas así como el estado de operación de las instalaciones se realiza mediante la visita programada de personal a las instalaciones, las cuales se encuentran en la mayoría de las ocasiones a varios kilómetros de distancia de la ciudad.

Pensando en mejorar esta situación se ha creído conveniente modernizar y hacer más eficiente su operación, para ello se decidió implementar un sistema mediante el cual se pudiera obtener en tiempo real el estado de operación e información concerniente a dicho campo de pozos y que a su vez dicha información sea confiable, entre los principales parámetros tomados en cuenta para ser adquiridos en el presente estudio se tienen: la cantidad de agua extraída de los pozos medida por el flujo parcial de pozos y totalizado de todos los pozos en conjunto, variables de temperatura de operación de motor, así como de voltajes y de corrientes presentes, sin olvidar los niveles de agua almacenados en los pozos, visualicemos de esta manera un sistema capaz de alimentarse de estos datos para poderlos almacenarlos, lanzar alarmas de precaución y comandar sistemas de control más complejos.

Al equipar el campo de pozos con este sistema se logra un mejor monitoreo de la cantidad de caudal que se está extrayendo de los pozos hacia el sistema de ductos, de esta manera se gana en eficiencia y se evitan visitas y constantes traslados de personal de campo a verificar datos de caudales y los otros parámetros citados anteriormente, ahora al equipar este sistema de adquisición de datos con una base de datos la información puede ser almacenada para su posterior análisis.

El sistema está conformado por un software HMI (interfaz humano maquina) desarrollado en LabView® 9, este software es el medio de interacción entre el operador o usuarios que desean consultar información de los pozos, bombas y niveles de tanques.

La elección de LabView® 9 como plataforma de desarrollo se basa en la rapidez con la que se pueden construir aplicaciones funcionales y la facilidad de manejo al basarse en un lenguaje de programación gráfico entre sus puntos más sobresalientes se encuentra la posibilidad de ir simulando los procesos mediante la inyección de señales para verificar que el programa es perfectamente funcional.

LabView® 9 ofrece herramientas que facilitan en gran manera el proceso de generación de las aplicaciones de gran aspecto final, si a esto sumamos capacidades de poder ser interconectado con paneles de tecnología Touch y de computadores embebidos de gran potencia y versatilidad se pueden generar ambientes gráficos para representar las instalaciones incluidas en el sistema de monitoreo de manera funcional con el cual se facilita la tarea de monitorear, reconocer estados de alarma al igual que generar historiales de eventos y alarmas, así como de lograr procesos de control.

La propuesta que muestra la presente investigación abarca también el estudio de propagación radioeléctrica reconociendo su vital importancia al momento de transportar la información misma que debe ser confiable y tener la posibilidad de tener algún método de protección a fin de garantizar que estos datos que son de vital importancia estén siempre presentes en las oficinas de gestión central del sistema de monitoreo de EMAPAR, en sitio la recolección de datos es la tarea principal para ello se tiene proyectado el estudio de los sistemas tecnológicos necesarios para adquirir dichos datos mediante tecnología inalámbrica de punta con el objetivo de conformar una red de comunicaciones industrial para el campo de pozos que garantice la integridad de la información recogida y su correcta entrega hacia el sistema de transporte de información. Esta delicada tarea recae en los probados y eficientes sistemas WSN (Wireless Sensor Network, de tecnología National Instruments) cuya función principal es justamente la de poder obtener datos desde una variedad de sensores (corriente, voltaje, temperatura, etc) y transportarlos de manera inalámbrica hacia un nodo de recolección de datos, este sistema si bien no tiene una cobertura tan extensa como para poder transmitir la información obtenida directamente hasta EMAPAR se apoya en el sistema de propagación

radioeléctrica comentado en las líneas anteriores para cumplir con dicho objetivo.

La idea de montar este sistema inalámbrico, además de la ya expuesta, es la de poder contar con varias rutas posibles de transmisión de datos local (desde campo de pozos), para poder hacer frente una posible falla de un dispositivo de transmisión local, posibilidad que si bien es muy poco probable debe ser tomada en cuenta para lograr obtener un diseño altamente eficiente y por sobre todo muy confiable, nuevamente los dispositivos WSN cubren este requerimiento al ser dispositivos con capacidades de enrutamiento propias, característica que se traduce en la posibilidad de cambiar la ruta que siguen los datos en el campo de pozos en el supuesto pero posible escenario que un dispositivo de la red quedara fuera de servicio.

De esta manera es plenamente posible monitorear en las oficinas de EMAPAR en la ciudad de Riobamba lo que sucede a 10 kilómetros de distancia en los pozos de agua potable todo en tiempo real y con datos cuantificados de manera precisa y confiable, adquirir datos, procesarlos, almacenarlos y realizar tareas de control que pudieran ser requeridas en un futuro gracias a un diseño flexible y modular que LabView® y su entorno de programación grafica se encarga de brindar.

## **CAPITULO I**

### **1.- MARCO REFERENCIAL**

#### **1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El monitoreo de ductos de transporte de agua potable en la ciudad de Riobamba actualmente es realizado enviando personal humano hacia el campo de pozos, para lo cual es necesario el contar con un numero especifico de personas dedicadas a esta labor (aforado, niveles freáticos, variables eléctricas), procesos que podrían ser mejorados con un sistema de monitoreo remoto, una vez realizadas las tareas de recolección de datos por el personal técnico las tareas de compensación de válvulas son realizadas de manera rudimentaria mediante la manipulación de válvulas de paso por el sistema “conteo de vueltas”.

Se pierde valioso tiempo en la detección de roturas en los ductos mismos que son detectados también tardíamente, lo cual es motivo de inconvenientes para la ciudadanía debido al tiempo que tiene que soportar sin servicio cuando esto sucede, de igual manera si bien se cuenta de manera parcial con equipos de protección eléctrica de bombas capaces de visualizar los valores de las variables eléctricas, estas no son almacenadas ya que no se cuentan con los data loggers necesarios para su almacenaje y posterior análisis.

.

#### **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La EMAPAR no cuenta con un sistema de recolección de datos de caudal para poder obtener información remota, hablamos de este modo que en los ductos que transportan el liquido vital desde la salida de los pozos hasta el tanque recolector ubicado en el campo de pozos ubicado en la parroquia Llio (01°33'50,5" latitud Sur, 78°42'48,4" longitud Oeste) , asi como el tramo comprendido desde el tanque de recolección en el campo de pozos hacia la planta de aereación ubicado en la periferia alta de la ciudad de Riobamba (1°37'16,4" latitud Sur, 78°41'03,4" longitud Oeste) no se cuenta con sistemas de recolección de datos, con la excepción de una unidad de macro medición electromagnética instalada a la llegada de la estación de aireación pero presenta el inconveniente de que se encuentra instalada de manera *incorrecta*

al haberse colocado en su instalación claramente en contra flujo lo que afectara la toma de datos futuros, esto va en detrimento de un sistema de monitoreo que quisiera hacer uso de este macro medidor ya instalado.

Estos procesos de obtención de caudales son realizadas nuevamente de manera manual para conocer el caudal transportado por las tuberías de transporte de agua, este sistema con poca eficiencia ha venido operando durante muchos años y sus consecuencias inmediatas: perdida de dinero y tiempo y lo más importante pérdida del suministro del liquido vital para la ciudad en casos de averías de tuberías por no contar con la información de fallos de manera oportuna.

## **OBJETIVOS**

### **1.3.1. GENERAL**

Diseñar e implementar un prototipo a baja escala cuya tarea principal será la de monitorear los campos de pozos y ductos del sistema de agua potable de la ciudad de Riobamba y funciones de control básicas, mismo que pueda ser expandido a futuro con funciones de control más complejas, garantizándose eficiencia y seguridad en los enlaces de radio propagación requeridos para realizar una aplicación de este tipo.

### **1.3.2. ESPECIFICOS**

- Realizar el estudio de componentes necesarios para lograr el monitoreo del campo de pozos y ductos del sistema de recolección de agua de la Empresa Municipal de Agua Potable de Riobamba, basado en redes industriales WSN, con capacidades de auto enrutamiento que permitan brindar confiabilidad en las tareas de monitoreo de las instalaciones, así como lograr un diseño de dicha red que permita tener bajo costo y alta confiabilidad.
- Diseño del sistema de monitoreo del campo de pozos y ductos de transporte de la Empresa Municipal de Agua Potable de Riobamba de una manera flexible que permita escalamiento e implementación de nuevas variables de medición de manera rápida y económica y la posibilidad de enviar ordenes de control a dispositivos remotos a futuro.
- Estudio y diseño del sistema de propagación radioeléctrico de alta confiabilidad y de alto grado de disponibilidad bajo condiciones climáticas propias de la zona de implementación.
- Implementación de un prototipo experimental y funcional para el sistema de monitoreo del campo de pozos y ductos de la Empresa Municipal de Agua Potable de Riobamba.

- Realizar un análisis técnico económico de factibilidad del sistema de monitoreo con capacidades de expansión del sistema descrito y propuesto en el presente trabajo de investigación.

#### **1.4.- JUSTIFICACIÓN**

La ciudad de Riobamba necesita tener un sistema de monitoreo de su campo de pozos y su sistema de ductos cuya funcionalidad y finalidad este encaminada a mejorar la calidad de servicio brindado a la ciudadanía a través de su ente encargado y regulador, en este caso, la Empresa Municipal de Agua Potable de Riobamba (EMAPAR) este sistema debe presentar características de flexibilidad para poder ser modificado si los requerimientos futuros así lo ameriten de manera rápida y efectiva, como etapa inicial los requerimientos de la EMAPAR establecen la necesidad de conocer lo que sucede en los campos de pozos y sistemas de ductos pero el diseño aquí presentado esta concebido en base a un sistema de comunicación radial de doble sentido a fin de poder implementar sistemas de control remoto más complejos a futuro sin nuevas inversiones de canales de comunicación extras.

Debido a que las decisiones tomadas de abrir o cerrar una válvula para procesos por ejemplo de balanceos de presión o en casos de emergencia como roturas de ductos se llevan a cabo de manera manual recorriendo el campo de pozos y ductos se hace necesario contar primero con “Sensores” que puedan revisar este campo y ductos las 24 horas del día, los 365 días del año “ojos” que puedan “Ver” constantemente los cambios de parámetros producidos por variaciones de flujos de agua o las corrientes, voltajes y temperaturas presentes en las bombas de extracción para poder luego realizar tareas de ajuste, es esta la razón principal que el objetivo de este trabajo de investigación propone: establecer los lineamientos principales y necesarios para poder contar con un sistema lo suficientemente robusto para adquirir datos remotamente y transmitirlos hasta un centro de gestión ubicado en la ciudad de Riobamba, pero construyendo la ruta de transmisión necesaria bidireccional que será utilizada a futuro para controlar sistemas de remotos más complejos, se aborda en el presente documento la posibilidad de realizarlo mediante sistemas de control difusos de última generación.

De esta manera el proyecto de investigación propuesto puede brindar una solución efectiva a los puntos tratados, siendo una alternativa viable a tener en cuenta para el mejoramiento del servicio para la población de la ciudad que es atendida por la Empresa Municipal de Agua Potable de Riobamba.

## **CAPITULO II**

### **2.- MARCO TEÓRICO**

#### **2.1.- ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

En la actualidad estos sistemas están siendo aplicados en las redes de suministro de agua potable de Nueva York, Las Vegas y Ciudad de México donde su valía ha sido comprobada, en el país este tipo de soluciones aun no ha sido explotado, salvo un estudio de control básico de niveles de los tanques reservorios de agua potable realizado por la Municipalidad de Cañar. La provincia de Chimborazo sería la primera en contar con este sistema en las instalaciones de la EMAPAR.

#### **2.2.- FUNDAMENTACION TEÓRICA.**

##### **2.2.1.- MONITOREO MEDIANTE NI LABVIEW NI WSN & NI COMPACT FIELD POINT**

Uno de los problemas principales encontrados a la hora de poner en marcha un proyecto de monitoreo y posterior control está directamente relacionado por el tiempo necesario requerido para poder tener operativo el mismo, existen varias soluciones que pueden ser tomadas en cuenta pero debido a las necesidades de adquisición de datos, análisis y despliegue de la información recibida, el factor tiempo es considerado de manera prioritaria en la solución a implementarse.

Otro punto que merece especial atención es la flexibilidad que debe tener un sistema de este tipo tanto en su interface de usuario, sistemas de procesamiento y adaptación de señales, así como en los sistemas de recolección o toma de muestras, es por ello que LabView® 9 (Software de National Instruments) cumple eficientemente con estas exigencias, una de las principales características de este software es su naturaleza grafica, LabView® 9 es un potente lenguaje de programación basado en iconos y gráficos llamados VIs (Instrumentos Virtuales) intuitivos y de fácil utilización que pueden ser colocados a manera de cascada (uno tras otro) para ir formando una trayectoria lógica de datos que permitan procesar y mostrar nuestra información, LabView® 9 es reconocido también por el poco tiempo requerido

para montar complejos sistemas computacionales de recolección y adaptación de señal misma que posteriormente puede ser utilizada para realizar procesos de control automático eficientes, la recolección de señal es entonces un punto crítico para lograr un sistema de monitoreo y luego de control confiable, es aquí donde entran en escena varios dispositivos que pueden ser utilizados de manera eficiente para este fin, la capacidad de flexibilidad y robustez en condiciones de trabajo exigentes hacen del sistema Compact Field Point de National Instruments una elección acertada.

El sistema Compact Field Point (CFP) es básicamente un sistema de medición y control industrial altamente expandible formado por módulos de E/S, e interfaces de comunicación inteligentes, esto unido al hecho de ser un dispositivo listo para trabajar en tiempo real lo hace una elección ideal para este tipo de aplicaciones.

Además es posible conectar prácticamente cualquier tipo de sensor con una amplia variedad de módulos de E/S, tales como termopares, detectores de resistencia de temperatura (RTDs), galgas extensiométricas, sensores de 4-20 mA y una variedad de señales digitales de 5-30 VDC y 0-250 VAC. El filtro de los módulos E/S de Compact Field Point calibra y escala señales puras de sensores a unidades de ingeniería y realizan un auto diagnóstico para la búsqueda de problemas, tales como unos termopares abiertos por ejemplo.



**Figura 1.** Sistema Compact Field Point

Mediante la utilización del sistema Compact Field Point publica es posible de manera rápida y amigable poder tener el lazo entre el mundo externo y sus múltiples variables como temperaturas, voltajes, corrientes, niveles lógicos a disposición de nuestra aplicación de software elaborada en LabView® 9, para poder ser almacenados, publicados o controlados de manera rápida y eficiente, otra característica vital de este sistema es la capacidad del mismo de brindarnos salidas análogas, bancos de relés así como de salidas de estados lógicos, lo que permite que nuestra aplicación pueda gobernar un sistema de control automático.

Es apreciable también las bondades de LabView® 9 para simular el sistema antes de conectar nuestras señales externas a fin de observar el desenvolvimiento de nuestra aplicación en determinados escenarios de funcionamiento.

El sistema Compact Field Point publica automáticamente las mediciones utilizando Ethernet, es posible de esta manera acceder a puntos de E/S que se encuentran cerca o a kilómetros de distancia utilizando la misma base de software simple de lectura/escritura.

Si es necesaria mayor capacidad de memoria para nuestro sistema simplemente se la puede aumentar mediante la colocación de sistemas Compact Flash, o sistemas de almacenamiento de datos USB.



**Figura 2.** Módulos de Expansión del Sistema Compact Field Point

### **2.2.2.- ESTÁNDAR DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA ZIGBEE (IEEE 802.15.4)**

La ZigBee Alliance (Alianza ZigBee) es una asociación de empresas que trabajan conjuntamente para permitir el desarrollo de redes inalámbricas interconectadas que presenten fiabilidad, rentabilidad y bajo consumo; para permitir realizar tareas de monitoreo y control basados en un estándar global abierto.

Los objetivos de esta alianza es ofrecer al consumidor la máxima flexibilidad, movilidad y facilidad de uso en dispositivos de uso diario y común, la tecnología ZigBee se está incorporando en una amplia gama de productos y aplicaciones como aplicaciones de uso comercial, industrial y gubernamental en todo el mundo.

La idea recae en la posibilidad de poder brindar a las empresas por primera vez, una plataforma inalámbrica basada en estándares optimizados para las necesidades únicas de monitoreo remoto y aplicaciones de control, incluyendo la simplicidad, fiabilidad, bajo coste y bajo consumo de energía, enfocados de la siguiente manera:

- Definición de la red y seguridad garantizadas.
- Proporcionar interoperabilidad y ensayos de conformidad.
- Promoción de la marca a nivel mundial de ZigBee para crear conciencia de mercado
- Gestión de la evolución de la tecnología
- La tecnología ZigBee se encuentra actualmente siendo utilizada con resultados positivos en amplias áreas de aplicación que requieren una gestión de energía eficiente como: monitoreo y gestión de edificios, campos industriales, monitoreo medico, monitoreo y control del hogar.

### **2.2.3.- EJEMPLOS DE APLICACIONES ZIGBEE**

En esencia, las aplicaciones que requieren interoperabilidad y o las características de rendimiento de RF de este estándar (IEEE 802.15.4) se beneficiarían de estas características que presenta esta tecnología de comunicaciones, entre los potenciales ejemplos de aplicación podemos ver los siguientes:

- Infraestructura de Medición Avanzada
- Lectura automática de Medidores
- Controles de Iluminación
- Controles HVAC (Heating, Ventilating, and Air Conditioning)
- Control de calefacción
- Controles ambientales
- Detectores de humo y de CO
- Seguridad del Hogar
- Control de Motores
- Censado Medico y Monitoreo
- Monitoreo y Automatización Industrial
- Medición de Caudales

### **2.2.4.- POR QUÉ ELEGIR ZIGBEE**

ZigBee es la única tecnología inalámbrica basada en estándares:

- Que se ocupa de las necesidades únicas de monitoreo remoto, control, y aplicaciones de redes de sensores inalámbricas (WSN).
- Permite el despliegue de redes inalámbricas de bajo coste, y bajo consumo de potencia.
- Proporciona la capacidad de funcionar durante años con bajo costo de baterías para una aplicación típica de monitoreo.

La Alianza ZigBee es la encargada de transferir las especificaciones para el desarrollo de aplicaciones de perfil público.

El trabajo actual es el más importante en la especificación ZigBee y se considera completo, y sólo existen cuestiones menores de mantenimiento a tratar en el futuro.

No hay actualizaciones adicionales a la especificación a corto plazo o anunciadas o que hayan sido anticipadas. Con las características actuales la creación de productos o redes ZigBee nunca ha sido más fácil, y ahora los fabricantes brindan incluso una mayor flexibilidad en la elección de la solución correcta ZigBee para un determinado proyecto.

Empresas de construcción de productos inalámbricos que hoy por hoy usan ZigBee están reduciendo su riesgo de desarrollo de proyectos debido a que los juegos de normas base y los soportes de las actualizaciones son obtenidas fácilmente, además el soporte y compatibilidad de la tecnología hacia atrás (versiones anteriores) se preserva.

#### **2.2.5.- PERFIL DE APLICACIÓN PÚBLICA**

Especifica y contiene detalles específicos acerca de qué información se puede comunicar en un dispositivo y cómo este dispositivo debe interactuar con otros dispositivos en la red ZigBee.

Un perfil de aplicación pública es una especificación desarrollada y publicada por la Alianza y está disponible para todos los miembros de dispositivos ZigBee. Los productos ZigBee deben ser compatibles en plataformas ZigBee con el fin de llevar el logotipo de ZigBee. Cualquier producto con el logotipo de ZigBee ha sido objeto de un régimen exhaustivo de pruebas para asegurar que el producto va a funcionar con éxito con otros productos certificados de ZigBee.

#### **2.2.6.- PUNTOS TÉCNICOS SOBRESALIENTES DEL ESTÁNDAR IEEE ZIGBEE (802.15.4)**

Los productos compatibles con ZigBee sacan el máximo provecho de un poderoso estándar IEEE 802.15.4 de comunicaciones radiales y que operan en bandas no licenciadas a nivel mundial a 2,4 GHz (mundial), 915 MHz (América) y 868Mhz (Europa). La tasa de ratas de rendimiento de 250Kbs se puede lograr

a 2,4 GHz (16 canales), 40Kbs a 915 MHz (10 canales) y 20Kbs a 868Mhz (1 canal).

Las distancias de transmisión oscilan entre 10 y 100 metros (ZigBee) y 300 a 1000 metros (ZigBee Pro), dependiendo también de características propias del medio ambiente y la topología del terreno.

### **2.2.7.- MÉTODOS UTILIZADOS POR LA TECNOLOGÍA ZIGBEE (802.15.4) PARA LOGRAR BAJO CONSUMO DE ENERGÍA.**

Los dispositivos de comunicaciones radiales basados en el estándar ZigBee (802.15.4) están diseñados para poder entrar en estados de hibernación si el tráfico de información no amerita que el dispositivo se encuentre activo, el dispositivo puede de esta manera “dormir” durante horas o días con su correspondiente ahorro en el consumo de energía, extendiendo de esta manera la vida útil de las baterías. El ciclo de trabajo de la batería de alimentación de los nodos dentro de una red ZigBee está diseñado para ser muy bajo, lo que da como resultado en un consumo de energía de muy bajo promedio.

Una vez asociado a una red, un nodo ZigBee puede despertar y comunicarse con otros dispositivos de ZigBee y volver a dormir, dependiendo de si es necesario o no su funcionamiento como lo muestra la siguiente representación de valores típicos:

- 30 ms. (típico) = enumeración nuevo esclavo
- 15 ms. (típico) = esclavo, de estado de sueño a activo
- 15 ms. (típico) = esclavo, activar acceso a canal

### **2.2.8.- VIDA ÚTIL DE BATERÍAS EN MÓDULOS ZIGBEE**

Mientras la vida de la batería es en última instancia una función del tipo de batería, su capacidad y aplicación final, ZigBee fue diseñado desde cero para soportar aplicaciones de muy larga vida de la batería.

Los usuarios pueden esperar que la vida de la batería en los módulos ZigBee sea de varios años cuando se utilizan pilas alcalinas estándar en una red capaz

de soportar una aplicación típica. Para aplicaciones de ciclos muy bajos como lectura de mediciones automáticas, la vida de la batería podrá ser superior a diez años.

### **2.2.9.- ZIGBEE FRENTE A LAS INTERFERENCIAS Y LA CONVIVENCIA EN LA BANDA DE 2,4 GHZ**

Los productos basados en ZigBee pueden tener acceso a hasta 16 canales separados de 5 MHz en la banda de 2,4 GHz, varios de los cuales no se superponen a las versiones de EE.UU y Europa del estándar IEEE 802.11 o Wi-Fi®. ZigBee incorpora un protocolo de IEEE 802.15.4 definido como CSMA-CA, que reduce la probabilidad de interferir con otros usuarios y de la redistribución automática de datos con robustez.

El ciclo de trabajo de un dispositivo compatible con ZigBee es generalmente muy baja, es decir, relativamente muy pocas unidades de paquetes de datos se transmiten, lo que reduce la probabilidad de una transmisión sin éxito.

ZigBee fue diseñado para trabajar en hostiles entornos de RF que habitualmente existen en las principales aplicaciones comerciales e industriales. Utilizando Direct Sequence Spread Spectrum con funciones que incluyen prevención de colisiones, detección de energía recibida, indicadores de la calidad del enlace, evaluación de claridad del canal, seguridad, ranuras de tiempo, garantizan que los paquetes lleguen a su destino de manera transparente.

### **2.3.- SISTEMAS DE MEDIDA INALÁMBRICOS NI WSN**

Los sistemas de medición inalámbrico resultan ser la solución ideal en lugares de difícil acceso a la adquisición de datos superando de esta manera limitaciones de infraestructura de red, ofreciendo soluciones a antiguos problemas y nuevos que se podrían presentar por haberse proyectado pero que una solución basada en una infraestructura de red cableada la hace costosa, en estas circunstancias la aplicación de estos sistemas lo transforma en una medida rentable mucho más cuando la vida útil de las baterías utilizadas puede bordear fácilmente los 3 años.

Una solución comercial robusta, rápida de implementar y compatible con el software LabVIEW la constituye el sistema NI WSN (Red de Sensores Inalámbricos de National Instruments) en este tipo de redes inalámbricas podemos distinguir dos tipos dispositivos principales: Gateway y nodos de medición.

- **El Gateway**

El WSN Ethernet Gateway de National Instruments es el encargado de coordinar la comunicación entre nodos de medida distribuidos y es el controlador principal en una red WSN, el gateway tiene un radio IEEE 802.15.4 de 2.4GHz basado en la tecnología ZigBee para adquirir datos de medida desde la red de sensores y un puerto Ethernet de 10/100 Mbps para proporcionar conectividad flexible con un controlador principal basado en Windows o LabVIEW Real-Time.

Características Principales:

- Radio de 2.4 GHz basado en ZigBee para comunicarse con nodos de medida WSN.
- Conectividad Ethernet con controladores principales Windows o LabVIEW Real-Time
- Rangos de Temperatura de -40 a 70°C
- Alimentación de potencia de 9 a 30 VDC



**Figura 3.** Ethernet Gateway

- **Nodos de Medida**

Los nodos de medida WSN de alta precisión, ofrecen cuatro canales de entrada analógica y cuatro canales de entrada/salida digital para una fácil conectividad con sensores, cuatro celdas alcalinas AA que brindan hasta 3 años de duración bajo una operación a 3 muestras/minuto (el numero de muestras por minuto pueden ser aumentadas). El WSN-3202 también ofrece una línea de salida de fuerza para sensorers de hasta 12V, 20 mA que se libera desde la batería o fuente de alimentación externa para controlar sensores externos.

Estos dispositivos robustos ofrecen especificaciones industriales de impacto y vibración y rangos de temperatura de -40 a 70°C. Un radio de 2.4 GHz basado en ZigBee brinda un rango al aire libre de 1000 metros con línea de vista y permite que los nodos de medida formen una red confiable.

Cuando son configurados como ruteadores de malla, deben permanecer encendidos todo el tiempo para enviar y recibir datos a través de la red. En este caso, se recomienda que sean alimentados con una fuente externa como lo es una fuente de 9 a 30 V, un panel solar o una batería más grande.



**Figura 4.** Nodo de Medida de Entrada Analógica de Cuatro Canales, 16 Bits,  $\pm 10$  V



**Figura 5.** Nodo de Medida de Entrada de Termopares de 4 Canales, 24 Bits

## 2.4.- DESPLIEGUE DE INFORMACIÓN

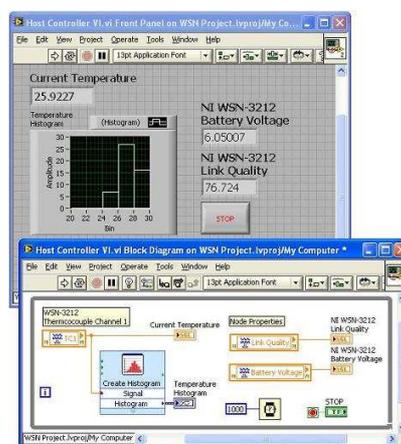
Uno de los puntos a tener en cuenta en un sistema de monitoreo recae en el tiempo necesario que involucra el preparar una aplicación para que pueda mostrar la información adquirida en pantalla, la rapidez que brinda el Software de NI para tal efecto lo hace un método idóneo donde bajos tiempos de puesta en marcha de un proyecto son necesarios, a su vez la posibilidad de que los datos adquiridos sean totalmente compatibles con el entorno de monitoreo brindan justamente estos beneficios, esta es una característica muy importante a tener en cuenta en un sistema de monitoreo, de esta manera los sistemas de comunicación WSN de NI pueden ser fácilmente configurados a través de la herramienta NI Measurement & Automation Explorer (MAX). Esta herramienta ofrece una interfaz de usuario interactiva para añadir y eliminar nodos de medida y configurar los ajustes inalámbricos. Por ejemplo para el proceso de instalar una red WSN, añadiríamos un servidor gateway y sistemas remotos de tomas de medición mediante la utilización de los números de serie de los nodos de medida que estemos utilizando, luego el proceso se completa mediante el reinicio de dichos nodos y estos a su vez están conectados de manera automática a los gateways que han sido asignados.

Utilizando la herramienta MAX es posible monitorizar todos los nodos de la red WSN así como también la el estado de la batería y el nivel y calidad del enlace. Se puede usar la herramienta MAX para ver todos los nodos en su WSN, mediante el mismo MAX es posible configurar parámetros importantes de comunicación como el canal de radio ZigBee, configurar la dirección IP del Gateway, actualizar el firmware de manera inalámbrica en los nodos de medida y configurar un nodo para funcionar como un dispositivo final o ruteador de malla.

El punto sobresaliente de poder contar con el software NI-WSN es el hecho de que tiene integración total con LabView® 9, de esta manera los datos adquiridos por la red WSN pueden ser procesados y desplegados rápidamente en aplicaciones realizadas en LabView® 9. Una vez que un gateway WSN es agregado al Software MAX y es incluido en un proyecto de LabView® 9, los nodos configurados con el gateway se instalan automáticamente en el proyecto y los datos pueden ser asequibles por la aplicación de manera inmediata,

brindándole acceso instantáneo a sus E/S y propiedades. Si por ejemplo necesitamos presentar o extraer datos o posteriormente analizarlos, simplemente se puede lograr arrastrando las variables de E/S desde el Proyecto de LabView® 9 a un Diagrama de Bloques de LabView® 9.

Se puede también usar variables de E/S para monitorear las cualidades del nodo, tales como calidad de enlace y voltaje de la batería; y conocer características propias de dicho nodo como saber si se encuentra configurado como nodo final o ruteador de malla.



**Figura 6.** Integración de los Nodos NI WSN con el Software NI LabView®

## 2.5.- ADQUISICIÓN DE DATOS

Las distintas variables que se pueden encontrar en el mundo que nos rodea tales como: temperatura, voltajes corriente, presión, resistencia, volumen, velocidad, caudal, nivel, elasticidad, etc. son variables análogas que pueden tener valores muy pequeños o muy grandes estos valores pueden ser “leídos” haciendo uso de sistemas de sensado, que hacen la función de “ojos”, estos dispositivos en el sector industrial se encargan de hacer una conversión de los datos sensados hacia un correspondiente nivel de voltaje o corriente que puede ser interpretado por una aplicación de monitoreo a fin de poder desplegar sus correspondientes valores en pantalla, procesar dicha información, almacenarla y o poder hacer control automático como por ejemplo cerrar válvulas o apagar o encender bombas sin la intervención de operarios. En esta cadena de

eventos el primer eslabón de gestión es la adquisición de datos, veamos cómo pueden adquirirse los principales parámetros que son medidos en la industria mismos que pueden ser aplicados al campo de pozos y ductos de la EMAPAR.

### **2.5.1.- ADQUISICIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA MEDIANTE TERMOPARES**

La idea de poder sentir el calor mediante la temperatura incidente en un arreglo compuesto por dos metales diferentes no es nueva, y es precisamente el concepto que descubrió Seebeck en 1821, mediante experimentos realizados constató que al hacer circular corriente eléctrica en un circuito formado por dos metales diferentes sus puntos de unión se mantienen a diferentes temperaturas.

Un termopar es un dispositivo capaz de convertir la energía calorífica en energía eléctrica, en la circulación de esta energía se ponen de manifiesto dos efectos termoeléctricos conocidos como el efecto Peltier y el efecto Thomson el primero provoca la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula por la unión de dos metales diferentes, el efecto Thomson consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula por un metal homogéneo en el que existe una variación de temperaturas, dicho en términos eléctricos el diferencial de tensión es proporcional a la temperatura alcanzada por la unión térmica quitado el efecto resistivo producido por el calor, que es igual al cuadrado de la corriente lo que da como resultado un remanente de temperatura que dependiendo del sentido de circulación de la corriente puede ser positivo o negativo, el efecto depende de los metales que forman la unión.

Debido a los efectos Peltier y Thomson, al cerrar el circuito termopar existe circulación de corriente por efectos térmicos esta es la causa de la circulación de corriente al cerrar el circuito en el termopar, aunque esta corriente puede ser aumentada por el calor en el termopar produciéndose medidas erróneas de temperatura por ello en la medición debe tener un valor mínimo, estudios llevados a cabo permiten establecer las siguientes leyes fundamentales de los termopares:

1. **Ley del circuito homogéneo.**- En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.
2. **Ley de los metales intermedios.**- Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura 'A' a otro 'B', la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo 'A' y 'B'.
3. **Ley de las temperaturas sucesivas.** La f.e.m generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas T1 y T3 es la suma algebraica de la f.e.m. del termopar con sus uniones a T1 y T2 y de la f.e.m. del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas T2 y T3.

En resumen en el circuito termopar se presenta una pequeña tensión continua directamente proporcional a la temperatura de la unión de los metales.

Los valores de esta f.e.m. se encuentran en tablas que facilitan su conversión referenciadas a 0°C.

Ciertos procesos industriales pueden provocar reacciones altamente calóricas de origen por ejemplo químico por ello es necesario adaptar extensiones para poder tomar las mediciones desde lugares seguros y es una buena mediada colocar al termopar una vaina de protección que lo proteja del entorno donde va a trabajar pero que al mismo tiempo no interfiera con la toma de medidas.

Las extensiones para termopares son cables con propiedades eléctricas similares a las de los termopares hasta ciertos límites de temperatura, se suelen utilizar los siguientes:

Extensiones tipo J para termopares tipo J

Extensiones tipo K o tipo T par termopares tipo K

Extensiones tipo T para termopares tipo T

Extensiones tipo E para termopares tipo E

Extensiones cobre-cobre níquel para termopares tipo R, So B

La adaptación eléctrica entre el cable de compensación, el termopar y el instrumento deben ser perfectas, no se admiten empalmes en el cable de compensación, utilizando el hilo correcto y evitando que su recorrido pase por

fuentes de calor (Efecto Thompson) que pueden producir tensiones que pueden dar origen a des calibración de los datos tomados.

Debido a los bajos niveles de tensión que el termopar generalmente 2 a 50 mv, un cable extensor podría comportarse a manera de antena induciendo en su recorrido gran cantidad de perturbación electromagnética que pueden crear cientos de mili voltios producidos por maquinas en funcionamiento o transmisiones de radio o televisión, enlaces de microondas, es necesario blindar el cable extensor y realizar una correcta puesta a tierra del cable a un sistema de tierra balanceado.

La vaina de protección dependerá de los procesos industriales a los cuales el termopar estará destinado a sensar, suelen utilizarse vainas iconel o hierro o también pirómetros de radiación (un pirómetro es un dispositivo que centra el calor en un solo punto para facilitar la lectura de la temperatura), vainas cerámicas, en procesos que se excedan los 1000 °C se suele utilizar vainas de carburo de silicio.



**Figura 7.** Vaina de Termopar

Tipo	Material		Código de Color		Encapuchado		Rango (°C)	
	Hilo Positivo	Hilo Negativo	Hilo Positivo	Hilo Negativo	Extensión	Encapuchado	Mínimo	Máximo
J	Hierro	Constantán	Blanco	Rojo	Negro	Café	0	750
K	Cromo	Alumel	Amarillo	Rojo	Amarillo	Café	-200	1250
T	Cobre	Constantán	Azul	Rojo	Azul	Café	-200	350
E	Cromo	Constantán	Morado	Rojo	Morado	Café	-200	900

**Cuadro 1.** Termopares estándar y sus propiedades

## **2.5.2.- ADQUISICIÓN DE DATOS DE CORRIENTE Y VOLTAJE**

Una de las mediciones que mayormente se encuentra en la industria es la de los parámetros de corriente y voltaje, hay que tomar en cuenta que estos valores muchas ocasiones se encuentran muy elevados lo que imposibilita tomarlos de manera segura al tratar de conectarlos directamente hacia los dispositivos de adquisición de datos, es así que medir de manera segura grandes niveles de corriente en un determinado escenario representa cubrir varios escollos que no están presentes en la adquisición de señales típicas. Medir el voltaje a través de arreglos de resistencias de carga puestas en un circuito es poco práctico y puede tener consecuencias peligrosas, de igual manera los típicos instrumentos como multímetros o pinzas amperimétricas pueden medir pocos amperios, y en ocasiones las mediciones de corriente pueden llegar a ser bastante elevadas como para que un usuario provisto de este tipo de instrumentos pueda llevar a cabo una medición de manera segura utilizando una conexión directa así pues llevar a cabo una medición de corrientes altas resulta en un factor limitante al tratar de hacerlo de esta manera.

Con el objetivo y fin de tener principalmente seguridad al momento de realizar mediciones de altas corrientes, lo más utilizado comúnmente en el campo de adquisición de señales de este tipo es utilizando Transformadores de Corriente de propósito general, este es un dispositivo que se sirve del fenómeno de inducción electromagnética en bobinas, de esta manera se separa el flujo de corriente elevada que atraviesa por una bobina y esta corriente induce una corriente mucho menor en otra bobina que está preparada a fin de lograr ajustar sus salidas a valores seguros de los dispositivos de adquisición de señales, existen gran variedad de sensores de este tipo específicos para diferentes aplicaciones.

## **2.5.3.- TRANSFORMADORES DE NÚCLEO DIVIDIDO VS. NÚCLEO SÓLIDO**

Los transformadores de corriente pueden ser de núcleo dividido (abierto) o núcleo sólido (cerrado). Como se había dicho anteriormente los transformadores de corriente se valen de la inductancia para medir la corriente,

de esta manera el circuito debe pasar al menos una vez a través de sensor, aunque varias vueltas pueden ser usadas para multiplicar la corriente de salida. Cuando un Transformador de Corriente (en adelante TC) es acoplado a un circuito existente los TC de núcleo abierto son catalogados con mayores ventajas, ya que pueden ser abiertos y pueden ser colocados alrededor del cableado existente sin tener que desconectar el circuito para poder instalarlo, no sucede de esta manera con los TC sólidos que requieren que el cableado sea desconectado es decir abrir el circuito y re cableado para poder entrar en funcionamiento con los cables pasando por su núcleo.

Por ello los costos de instalación pueden llegar a sobrepasar el costo de los sensores, los sensores de núcleo dividido aunque más costosos, pueden ser mejores en una instalación ya que ayudan a reducir el costo total de la instalación y su tiempo de colocación es menor.

Sin embargo en situaciones en las que las mediciones requieren ser lo más precisas posibles los TC de núcleo dividido suelen ser los más convenientes.



**Figura 8.** Transformadores de Corriente de Núcleo Dividido



**Figura 9.** Transformadores de Corriente de Núcleo Sólido

#### **2.5.4.- INTEGRACIÓN DE NIVELES DE SALIDA CON SISTEMAS DE MEDICIÓN**

Hay que tener cuidado al trabajar con varios sensores de corriente (TC) cuando se integran a una red de sensado de valores ya que las salidas pueden diferir, es de vital importancia de igual manera el conectar el sensor de manera correcta ya que si se conecta un sensor no adecuado a un equipo de medición o conectarlo incorrectamente puede dañar tanto el sensor como el sistema de medición además de generar situaciones en que la seguridad del personal de monitoreo puede correr peligro, es así que la premisa en este campo recae en saber qué tipo de sensor se está comprando y como se hace la interface con la instrumentación.

Las configuraciones de salida de los TC son de dos tipos:

- Salidas de Voltaje
- Salidas de Corriente

Los sensores con señales de voltaje proporcionales en corriente, son generalmente clasificados en voltios por ampere primario (v/amp), Estos sensores generalmente contienen una resistencia de carga interna que permite a la corriente secundaria ser medida como voltaje.

De esta manera este tipo de sensores pueden ser conectados a la mayoría de equipos de medición estándar de pruebas, tomando siempre en consideración que el voltaje no supere los rangos de seguridad máximos permitidos por el equipo de medición.

Las señales así obtenidas son de baja potencia y pueden ser conectados y desconectados sin causar daños al sensor, por ser señales relativamente pequeñas, la contaminación electromagnética podría causar variaciones de nivel de las mediciones o degradación de las mismas si estas son llevadas a través de cables largos.

Existen a su vez transformadores de corriente que presentan a su salida corrientes inducidas, estos sensores producen señales de alta potencia y pueden ser peligrosos si no son manipulados de forma adecuada. Los secundarios de este tipo de transformadores son construidos generalmente

para tener salidas nominales de 1 AAC o 5 AAC y no pueden ser conectados directamente a la mayoría de equipos de medición estándar.

Un TC 100:1 por ejemplo, nos daría como valor de medida de 1 AAC de corriente secundaria cuando 100 AAC pasan a través de su bobinado primario.

Es en extremo importante que las terminales secundarias de este tipo de TC no se encuentre con su bobinado secundario en corto circuito al momento que la corriente fluye por su bobinado primario ya que se podrían producir voltajes peligrosos generando daños permanentes en el sensor, los circuitos secundarios de este tipo de TC nunca deben ser cruzados.

Para poder usar estos TC con equipos estándar es necesario implementar una resistencia de carga a la entrada de la toma de medición, para poder mantener la integridad de la señal, la resistencia es generalmente puesta lo más cerca al equipo de medición.

#### **2.5.5.- ADQUISICIÓN DE DATOS DE CAUDAL (CAUDALÍMETRO ELECTROMAGNÉTICO)**

Son llamados caudalímetros electromagnéticos ya que se sirven del principio de inducción electromagnética para calcular la velocidad del agua en una tubería y a partir de esta el volumen de líquido que pasa por la tubería en un determinado periodo de tiempo. Luego esta información puede ser enviada de manera digital o análoga (dependiendo del tipo de salida del caudalímetro) hacia dispositivos de monitoreo o control automático, los datos sensados generalmente suelen ser visualizados en displays que incorporan estos medidores.

El fenómeno de la inducción electromagnética es el apareamiento o creación de una corriente eléctrica en un conductor que se mueve en un campo magnético.

Para que un caudalímetro electromagnético pueda funcionar se debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- Fuente de energía para poder generar un campo magnético y poderla enviar al agua circulante y ser recibida por los sensores del equipo
- Se requiere que exista agua en las tubería ya que será el elemento

conductor de la corriente generada.

La ecuación de Faraday para la inducción electromagnética es:

$$E_s = 1/c B v D$$

Donde:

**$E_s$**  = voltaje inducido en los electrodos producido por el líquido al moverse dentro de un campo magnético.

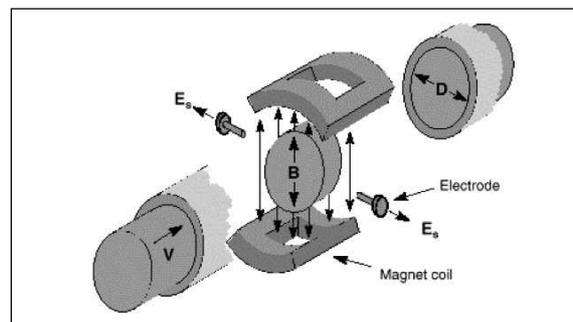
**$B$**  = densidad del campo magnético.

**$v$**  = velocidad del líquido.

**$D$**  = diámetro interno del equipo, similar al de la tubería.

**$c$**  = constante a dimensional.

Como lo que se requiere medir es el volumen instantáneo de agua que circula por el medidor se puede hacerlo multiplicando la velocidad promedio por el área de la sección transversal del tubo, es decir:  **$Q = Av$** , de esta manera si mas volumen de agua esta circulando por el medidor mayor será es voltaje inducido. Hay que tener muy en cuenta que este tipo de medidores de caudal se ven afectados en la precisión de sus mediciones si el líquido presenta partículas de minerales magnéticos.



**Figura 10.** Despiece de un Caudalímetro Electromagnético

Los Caudalímetros electromagnéticos requieren una instalación fija, y tener sus electrodos en contacto con el agua para poder llevar a cabo su proceso de medición, estos medidores suelen ser más costosos que otros tipos de medidores pero tienen mayor precisión.



**Figura 11.** Caudalímetros Electromagnéticos

Hay que tener presente consideraciones técnicas importantes al instalar este tipo de medidores ya que de no seguirlas se podrían dar como resultado mediciones erróneas producidos por ejemplo por la influencia de campos eléctricos externos provocados por líneas de alta tensión, variaciones de conductividad del agua por presencia de sales minerales en altas concentraciones, tubos parcialmente llenos y presencia de aire en conjunto con el agua en la tubería , si existe esta posibilidad estos sensores se deben colocar verticalmente con el flujo de agua en sentido ascendente.

Normalmente los registros de consumo tienen comportamientos similares con fechas en las que sequías o estaciones invernales provoquen cambios previsibles en estos valores, si los datos se encuentran fuera de rango fuera de dichas estaciones será un síntoma de que exista una posible falla en el sistema de medición.

Este tipo de medidores de caudal puede trabajar con flujos en ambas direcciones. Cuando alguno está mal instalado respecto al flujo normal, y si es costoso desmontarlo y reinstalarlo, basta con invertir los cables de corriente.

Este tipo de medidores suelen ser empleados generalmente en tuberías de medidas superiores a los 51 mm. de diámetro (2 pulgadas), aunque existen en el mercado medidores magnéticos tanto para tuberías de diámetros de 3 mm hasta 12 mm (1/8" hasta 15/32"), así como para tuberías con diámetros relativamente grandes: de 15 mm hasta 2200 mm (1/2" a 88") y estos pueden traer incorporado su pantalla o puerto de datos para transmitir las mediciones obtenidas a sistemas de monitoreo o carriers telemétricos.

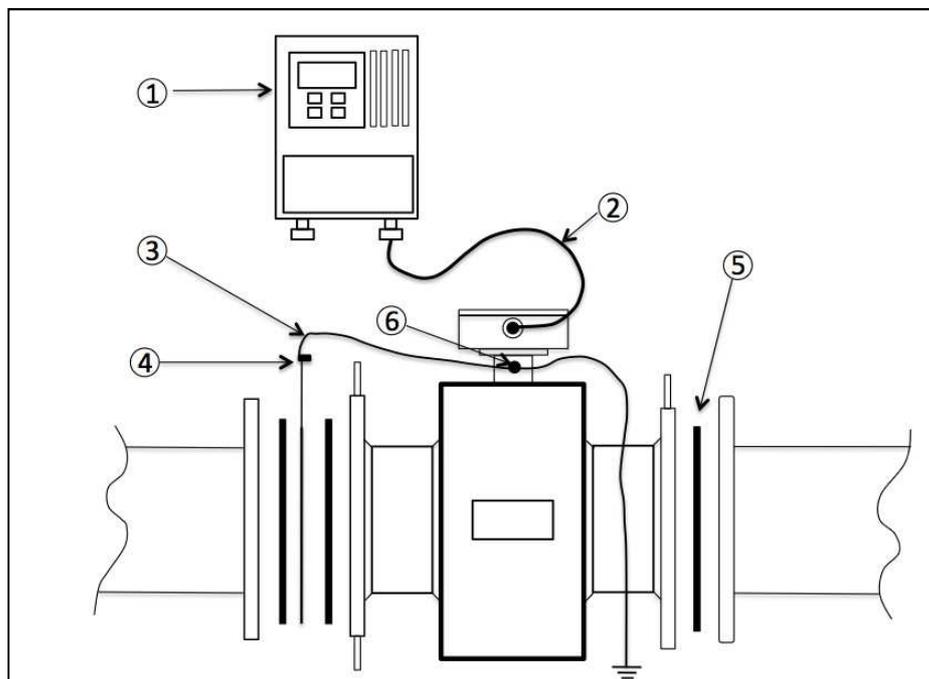
Usualmente podemos distinguir dos componentes principales en un medidor

electromagnético: el cuerpo del medidor, que va montado directamente sobre la tubería, y los accesorios electrónicos, que pueden estar unidos al medidor o alejados de él.

La ventaja de tener un sistema de medición que incorpore un puerto de señales adquiridas como el de los medidores electromagnéticos mencionados es que estas señales pueden ser leídas o vueltas a enviar hacia un lugar lejano con sistemas de retransmisión de datos que pueden ser medios vía cable, radio transmisión, vía telefónica, mails, entre los más utilizados, a este procedimiento de enviar los datos de mediciones a distancia se lo llama telemetría.

Si fuera necesario almacenar dicha información una aplicación de lectura de datos en la central de monitoreo podría encargarse de ello o se puede instalar sistemas de almacenamiento de información en conjunto con los medidores conocidos como “data- loggers”, para almacenar los datos adquiridos.

El grafico siguiente lista muestra las partes principales de un medidor electromagnético típico:



**Figura 12.** Partes que conforman un Macromedidor

- 1 Convertidor
- 2 Cable, (estándar o sumergible)
- 3 Ensamble de cable de tierra
- 4 Anillo aterrizador de acero inoxidable
- 5 Empaques
- 6 Rosca (cabezal)

#### **2.5.5.1.- RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN**

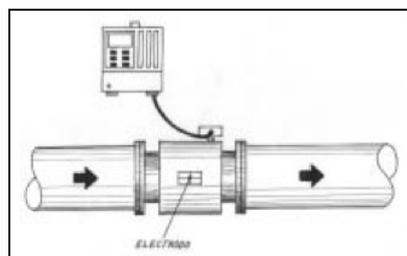
Se deben seguir las indicaciones que estipule el proveedor del medidor electromagnético y se recomienda realizar un informe escrito que incluya un croquis de la ubicación y foto del medidor montado, este informe se usa para crear el registro de inventario, para su correspondiente programación de lecturas, mantenimientos, calibración, etc.

Dependiendo del tamaño, marca y modelo las instrucciones de montaje pueden diferir, pero se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones generales:

#### **2.5.5.2.- POSICIONAMIENTO DEL SENSOR**

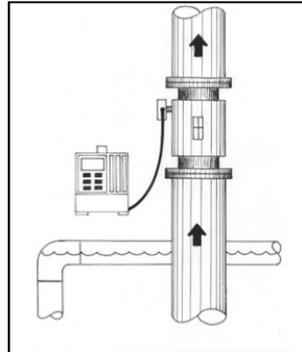
Los fabricantes generalmente entregan medidores ya calibrados para el tipo de sensor suministrado, en tramos de tubería horizontal, los electrodos deben estar en un plano horizontal, para prevenir que se pierda contacto en los electrodos por sedimentos, o por burbujas de aire.

Es necesario asegurarse que el sensor siempre quede totalmente cubierto con el líquido.



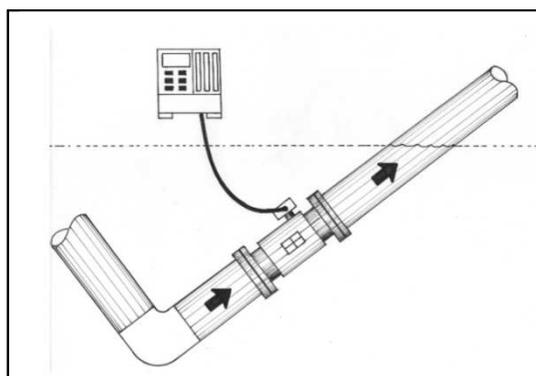
**Figura 13.** Posición horizontal del sensor

Si la tubería está colocada de manera vertical es muy importante que el flujo sea ascendente, ya que esta posición asegura una óptima distribución del líquido en el interior de la tubería y del medidor.



**Figura 14.** Posición vertical del sensor

Para evitar problemas de precisión al momento de obtener los datos, cualquier codo de 45 o 90 grados, cambios a tuberías más estrechas o válvulas parcialmente abiertas deben ubicarse a una distancia mínima de 10 diámetros aguas arriba, y a dos diámetros aguas abajo, el sentido del flujo debe corresponder con el indicado por la flecha del sensor.



**Figura 15.** Distancia preventiva desde un codo a un sensor

### **2.5.5.3.- SENSOR Y RUIDO ELÉCTRICO**

Para prevenir posibles ruidos eléctricos e interferencias el cuerpo del sensor debe tener contacto eléctrico con el agua que se está transportando esto se realiza con un anillo de aterrizado.

### **2.5.5.4.- INSTALACIÓN DE LA SONDA SENSORA**

Se debe tener precaución de que la tubería donde se vaya a instalar la sonda sensora se encuentre perfectamente soportada, además de tener drenaje alrededor del sensor, para evitar anegamiento del convertidor o de los cables. El sitio debe elegirse tomando en cuenta que se tenga el suficiente espacio para leer la pantalla y estar libre de interferencias eléctricas que podrían ser provocados por equipos cercanos, cables, transmisores de radio potentes, etc. El convertidor de señales no debe estar sometido a luz solar intensa, goteos de fluidos, derrames o vibraciones. Igualmente la unidad debe estar protegida del calor.

### **2.5.5.5.- MONTAJE REMOTO DEL CONVERTIDOR DE SEÑALES**

Se puede colocar el receptor remoto en cualquier sitio deseado, teniendo en cuenta de colocarlo en un lugar donde se pueda leer sus datos de manera cómoda, esta unidad se la puede montar en la pared, o unido mediante tornillos y tuercas en los hoyos que para el caso se hayan destinado. La distancia máxima desde el sensor es de aproximadamente unos 90 metros.

### **2.5.5.6.- ANILLO DE TIERRA Y EMPAQUES**

Son necesarias para dotar hermeticidad en las bridas y para que el fluido se aterrice adecuadamente al sensor.

### **2.5.5.7.- CONEXIONES CONVERTIDOR/TRANSMISOR**

Deben procurarse realizar las conexiones con el cable suministrado por el

proveedor del medidor, de igual manera si es necesario unir cables se deben utilizar los juegos de partes aprobados por el proveedor para garantizar un óptimo acoplamiento, así mismo se deben seguir al pie de la letra las indicaciones de corriente y voltaje y tener especial atención de sellar las entradas del conducto hacia la caja del convertidor para prevenir que entre humedad a la terminal.

#### **2.5.5.8.- PROCEDIMIENTOS DE INSTALACIÓN**

La instalación comprende varios aspectos y etapas, que van desde el acoplamiento y alineación del tramo del medidor con el resto de la tubería, el junte o sellado de bridas, las conexiones a tierra, los cableados eléctricos y conexiones al transmisor o a la pantalla de monitoreo, es necesario también el setear la programación del equipo para establecer por ejemplo unidades de medida y velocidades de transmisión de datos.

El medidor debe levantarse usando las bridas u orejas para izar que traen los equipos nuevos, jamás se debe introducir cables o vigas dentro del medidor para izarlo debido a que estas acciones pueden dañar el recubrimiento interior de igual manera jamás se debe soportar el medidor sobre su caja de control.

#### **2.5.5.9.- REVISIÓN Y MANTENIMIENTO BÁSICO**

Las labores más frecuentes de mantenimiento para realizar el mantenimiento preventivo o correctivo suelen ser:

- Revisar el estado general del equipo, cables y pantalla.
- Renovar cables, terminales, cambiar o limpiar los electrodos.
- Modificar la programación del equipo, en cuanto a velocidades de comunicaron, unidades de medida, etc.
- Reseteo de contador de volumen acumulado.
- Descarga de datos almacenados si se utilizan equipos de almacenamiento de datos.

## **2.5.5.10.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ESTE TIPO DE MEDIDORES.**

### **Ventajas**

- No posee partes móviles en contacto con el agua.
- Requieren una pequeña longitud de tramo recto aguas arriba, generalmente el fabricante solicita un mínimo de 5 diámetros.
- La señal de salida es lineal con el caudal, por lo que se simplifican los circuitos que generan las señales, en comparación con los de presión diferencial.
- Rango bastante amplio y variable, pudiendo regularse de 0-0.5 a 0-13 m/s.
- Error de  $\pm 0.5\%$  entre 100 y 50% del rango de medición del equipo (para velocidades iguales o mayores a 1 m/s).
- Aplicaciones en agua limpia y en aguas residuales.
- Puede tener diferentes tipos de recubrimiento en su interior, para resistir diferentes tipos de abrasión o corrosión.
- Apropiado para grandes diámetros y también para diámetros pequeños.
- Salidas de datos en diferentes formatos (analógico, pulsos o digital), y fácil transmisión y procesamiento de sus señales por medios electrónicos.

### **Desventajas**

- Alto costo inicial.
- Necesidad de mano de obra especializada para su instalación, calibración y mantenimiento.
- Requiere cuidados con respecto a las fuentes de energía externa que pueden provocar distorsiones en la operación normal del equipo.
- Necesidad de mantenimiento periódico en los electrodos, pues las partículas metálicas que son arrastradas por el agua se van depositando allí y, después de algún tiempo, interfieren en la medición. Este efecto puede minimizarse evitando las bajas velocidades y empleando revestimientos adecuados.

## 2.6.- ANÁLISIS Y DISEÑO DE ENLACES DE MICROONDAS

Las necesidades de enviar y recibir información de manera inalámbrica tienen en esta técnica de comunicaciones a una de sus más grandes exponentes, existe muchos campos de aplicaciones para este tipo de enlaces entre los cuales podemos citar a modo de ejemplo los siguientes: Radiocomunicación entre radio bases de sistemas de telefonía celular, transmisión de datos en empresas cuyos departamentos se encuentran geográficamente separados, bancos, sistemas de adquisición de datos telemétricos.

Los enlaces de microondas varían desde pocos kilómetros hasta los miles de kilómetros de cobertura y tienen varias características de capacidad de canal o ancho de banda dependiendo de las tecnologías seleccionadas para realizarlo y necesidades que se deban satisfacer. Tienen gran utilidad y son prácticos ya que no requieren de instalaciones físicas entre las estaciones de Transmisión (Tx) y Recepción (Rx), como el uso de cable coaxial o fibras ópticas, lo que supone también pagos por derecho de paso de vías entre estaciones ni de líneas subterráneas o aéreas cableadas sobre postes.

Para montar un radioenlace se requiere un sitio que permita su correcto funcionamiento y tomar consideraciones técnicas (mas adelante mencionadas) que garanticen su normal desempeño.

Cuando la distancia entre la estación transmisora (Tx) y la estación receptora (Rx) supera los 10 Km se hace necesario tomar en cuenta el radio de curvatura de la tierra, por si es requerido elevar las alturas de las antenas a fin de lograr establecer la comunicación entre las estaciones.

Para realizar el análisis y posterior diseño de enlaces mediante comunicaciones por microondas es necesario hacer un estudio sobre las condiciones de la trayectoria del enlace, tomando en cuenta distancias entre estaciones, condiciones climáticas, rugosidad de la superficie, perfil topográfico, vegetación.

Dependiendo de estos valores que son variables que dependen de la ubicación, estación del año condiciones predominantes en determinada locación se debe considerar un margen de desvanecimiento o factor de acolchonamiento para garantizar la disponibilidad del enlace, se hace necesario además considerar la atenuación que presenta la señal al

propagarse por la línea de transmisión del equipo de Transmisión y Recepción en su trayecto hacia las antenas, así como las pérdidas por propagación en el espacio libre, la elección de la antena con sus parámetros de ganancia y eficiencia son puntos a tener muy en cuenta para lograr un diseño adecuado y funcional que brinde estabilidad y confiabilidad en el enlace.

Luego de calcular las atenuaciones y ganancias que afectaran el diseño del enlace se puede calcular la ganancia mínima que debe tener el sistema.

La ecuación fundamental que garantiza esta condición se muestra a continuación:

$$G_s \geq P_t - C_{min}$$

Ecuación de Ganancia del Sistema (Ec.1)

Donde,

**G<sub>s</sub>** es la llamada ganancia del sistema, medida en decibeles [dB]

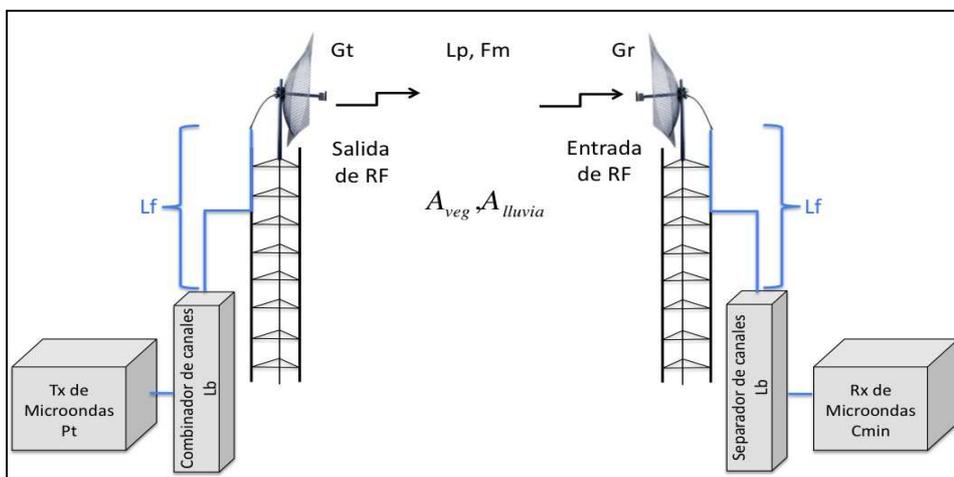
**P<sub>t</sub>** es la potencia de transmisión [dBm]

**C<sub>min</sub>** es el umbral del receptor [dBm]

De la ecuación de la ganancia del sistema se puede determinar que esta deberá ser mayor o igual que todas las pérdidas que involucran el enlace menos las ganancias de las antenas.

$$P_t - C_{min} \geq \text{Pérdidas} - \text{Ganancia.}$$

(Ec.2)



**Figura 16.** Esquema en bloques de un Radioenlace

La figura anterior muestra el diagrama de bloques de un enlace de microondas indicando las principales variables que se involucran en el sistema de comunicación donde podemos notar ganancias y pérdidas:

**G<sub>t</sub>** es la ganancia de la antena Tx [dB].

**G<sub>r</sub>** es la ganancia de la antena Rx [dB].

**L<sub>p</sub>** son las pérdidas en la trayectoria de espacio libre [dB].

**L<sub>f</sub>** son las pérdidas en la línea de transmisión (Tx y Rx) [dB].

**L<sub>b</sub>** son las pérdidas por diversidad [dB].

**F<sub>m</sub>** es el margen de desvanecimiento [dB].

**Alluvia** es la atenuación por lluvia [dB].

**AVeg** es la atenuación por vegetación [dB].

## 2.6.1.- CALCULO DE LOS PARÁMETROS DEL ENLACE

### 2.6.1.1.- PÉRDIDA EN LA TRAYECTORIA DE ESPACIO LIBRE [LP]

Se define como la pérdida sufrida por una onda electromagnética al propagarse en línea recta a través del vacío, sin absorción o reflexión de energía en objetos cercanos, pero en realidad no se pierda energía alguna, tan solo se reparte al propagarse al alejarse de la fuente y se produce una menor densidad de potencia en determinado punto a determinada distancia de la fuente.

En consecuencia un término más adecuado para referirse al fenómeno sería llamarlo pérdidas por dispersión. La pérdida por dispersión se debe simplemente a la ley del cuadrado inverso.

La ecuación que define a la pérdida por trayectoria en el espacio libre es

$$L_p = \left( \frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = \left( \frac{4\pi f D}{c} \right)^2$$

Expresada en decibeles tendríamos la siguiente ecuación:

$$L_p = 20 \log \left( \frac{4\pi f D}{c} \right) [dB]$$

Donde,

**f** es la frecuencia [Hz].

**D** es la distancia entre las antenas [m].

**c** es la velocidad de la luz [3X10<sup>8</sup> m/s].

### 2.6.1.2.-PÉRDIDAS POR LLUVIA

Para frecuencias mayores a 10 GHz, existen otros factores que afectan la propagación de las señales de microondas, como la Absorción por Gases y Vapor de Agua, la Atenuación por Lluvia y la Atenuación por Vegetación, entre otras.

Considerando una tasa de distribución de lluvia **R**, se puede calcular la atenuación específica como:

$$A_{lluvia} = aR^b [dB/Km]$$

Donde,

**A<sub>lluvia</sub>** es la Atenuación por lluvias [dB/Km].

**R** es la tasa de lluvia de la región [mm/h].

$$a = \begin{cases} 4.21 \times 10^{-5} f^{2.42} & 2.9 \text{ GHz} \leq f \leq 54 \text{ GHz} \\ 4.09 \times 10^{-2} f^{0.699} & 54 \text{ GHz} \leq f \leq 180 \text{ GHz} \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} 1.41 f^{-0.0779} & 8.5 \text{ GHz} \leq f \leq 25 \text{ GHz} \\ 2.63 f^{-0.272} & 25 \text{ GHz} \leq f \leq 164 \text{ GHz} \end{cases}$$

Para enlaces terrestres con trayectorias mayores a 6 km, la atenuación debido a la distancia entre antenas es menor de lo que muestra esta cifra cuando la lluvia afecta solo a una parte de la trayectoria del enlace.

Por lo tanto es necesario aplicar un factor de reducción para la distancia efectiva del enlace, el cual está dado como:

$$r = \frac{90}{90 + 4d}$$

Donde,

**r** es el factor de reducción.

**d** es la distancia real entre las antenas Tx y Rx, [Km].

Por lo tanto la ecuación más exacta para el cálculo de la atenuación por lluvia es:

$$A_{lluvia} = (a)(R^b)(d)(r)[dB]$$

### 2.6.1.3.- PÉRDIDAS POR VEGETACIÓN

Existen varios estudios sobre la influencia que ejerce el tamaño, la densidad, el tipo y la forma de vegetación en la atenuación que sufre la señal al propagarse por áreas con vegetación. El modelo expresado en la siguiente ecuación se aplica para el rango de frecuencias de 200 MHz a 95 GHz.

$$A_{veg} = 0.2f^{0.3}d_p^{0.6}[dB]$$

Donde,

**Aveg** es la atenuación por vegetación [dB].

**f** es la frecuencia [GHz].

**dp** es la altura de la vegetación [m].

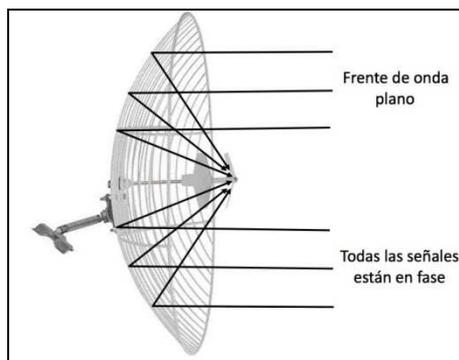
Según estudios realizados por Al-Nuaimi, 1998, el modelo que logra una predicción más cercana a la realidad es el siguiente y se recomienda para el rango de frecuencias de 10 a 40 GHz.

$$A_{veg} = 0.39 f^{0.39} d_p^{0.25} \quad [dB], \text{ árbol con hojas}$$

$$A_{veg} = 0.39 f^{0.18} d_p^{0.59} \quad [dB], \text{ árbol sin hojas}$$

#### 2.6.1.4.- GANANCIA DE LAS ANTENAS

Una antena parabólica tiene una ganancia aparente porque concentra la potencia irradiada en un haz angosto en lugar de enviarlo en forma uniforme en todas las direcciones (antena isotrópica), y el ancho del haz se reduce con los incrementos en la ganancia de la antena, como se puede observar en la ec. de perdida la trayectoria en espacio libre.



**Figura 17.** Reflector Parabólico

El ancho del haz de la antena en el punto a 3 dB, se calcula con la ecuación:

$$\theta_{3db} = \frac{70c}{fD_{ant}} [^\circ]$$

Donde,

**Dant** es el diámetro de la antena [m].

La Ganancia de la antena parabólica se calcula con la siguiente ecuación:

$$G = \eta \left( \frac{\pi D_{ant}}{\lambda} \right)^2$$

Donde,

$\eta$  es la eficiencia de la antena (Ej. 60%  $\eta = 0.60$ ).

$\lambda$  es la longitud de onda de la señal  $\lambda = \frac{c}{f}$  [m].

La ganancia de la antena en **dB**, sería,

$$G_{dB} = 10 \text{Log}(G)[dB]$$

### 2.6.1.5.-MARGEN DE DESVANECIMIENTO (FM)

Es un factor incluido en la ecuación de ganancia del sistema que considera las características no ideales y menos predecibles de la propagación de ondas de radio, tal como la propagación de múltiples trayectorias, sensibilidad a superficie rocosa, condiciones climatológicas, objetivos de confiabilidad y es válido para una distancia máxima de 400 Km . El Fm se calcula como:

$$Fm = \underbrace{30 \text{Log}_{10}(D)}_{\text{Efecto de la Trayectoria}} + \underbrace{10 \text{Log}_{10}(6ABf)}_{\text{Sensibilidad al Terreno y al Clima}} - \underbrace{10 \text{Log}_{10}(1-R)}_{\text{Objetivos de Confiabilidad}} - \underbrace{70}_{\text{Constante}}$$

Donde,

**D** es la distancia entre las antenas Tx y Rx [Km].

**f** es la frecuencia del enlace de microondas [GHz].

**R** es el objetivo de confiabilidad del enlace, (ej. 99.99%  $R=0.9999$ ).

**A** es el factor de rugosidad de la trayectoria.

= 4 sobre agua o terreno muy parejo.

= 1 sobre terreno normal

= 0.25 sobre terreno montañoso o muy disparejo.

**B** es el factor para convertir la probabilidad del peor de los meses en probabilidad anual.

- = 1 Para clima muy lluvioso y con mucha neblina.
- = 0.5 para áreas calientes y húmedas (calor húmedo).
- = 0.25 para clima normal.
- = 0.125 para áreas muy secas o montañosas.

#### 2.6.1.6.-POTENCIA DE RUIDO A LA ENTRADA DEL RECEPTOR

$$N=KTB$$

Donde,

**N** es la potencia de ruido [Watts].

**K** es la constante de Boltzman ( $1.38 \times 10^{-23}$  J/°K)

**T** es la temperatura equivalente del ruido del receptor (°Kelvin)

**B** es el ancho de banda de ruido [Hz].

#### 2.6.1.7.-UMBRAL DEL RECEPTOR, O SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR

Es la potencia mínima de portadora de banda ancha ( $C_{min}$ ) a la entrada de un receptor que produzca una salida útil de banda base, esta se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$C_{min} = \frac{C}{N} + N_{dBm} + NF [dB]$$

Donde:

$\frac{C}{N}$  es la relación portadora a ruido del receptor.

**NdBm** es la potencia de ruido del receptor [dBm]

**NF** es la figura de ruido del receptor [dB]

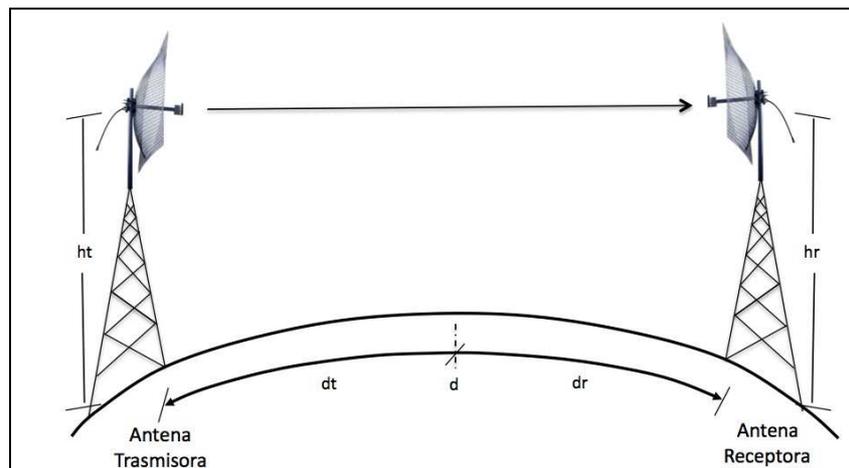
### 2.6.1.8.-POTENCIA DEL TRANSMISOR

De la ecuación de ganancias del sistema se puede obtener la potencia del transmisor.

$$G_{dB} = 10\text{Log}(G)[dB]$$

### 2.6.1.9.-ALTURA DE LAS TORRES

A distancias mayores de 10 Km se debe tomar en cuenta el radio de curvatura de la tierra para garantizar que haya línea de vista entre las antenas Tx y Rx.



**Figura 18.** Altura de las antenas para librar el radio de curvatura de la tierra.

El radio horizonte de línea de vista para una sola antena es:

$$d = \sqrt{2h}$$

Donde,

**d** es la distancia a radio horizonte (millas).

**h** es la altura de la antena sobre el nivel del mar (pies).

Para una antena Tx y Rx, la distancia entre las dos antenas se expresa como:

$$d = d_t + d_r$$

Y en función de  $h_t$  y  $h_r$  se expresa como:

$$d = \sqrt{2h_t} + \sqrt{2h_r}$$

Donde,

**d** es la distancia entre las antenas [millas].

**$h_t$ ,  $h_r$**  son las alturas de las antenas Tx y Rx en [pies].

#### **2.6.1.10.- FIABILIDAD DEL ENLACE**

Los sistemas de radiotransmisión punto a punto basados en enlaces de microondas están propensos a sufrir desvanecimiento y fluctuaciones de intensidad de señal, provocados por factores climatológicos, estos fenómenos pueden presentarse inclusive en lugares donde aparentemente no se tengan alteraciones de clima muy notorios, esta es la principal razón de implementar sistemas que ayuden a mantener la integridad de la información transmitida en posibles escenarios de cambios en los patrones climáticos de la zona donde se encuentra trabajando el radioenlace, entre los principales factores que intervienen en estos cambios se encuentran:

- Lluvias
- Granizo
- Vapor de Agua
- Tormentas de Arena

Estos fenómenos atmosféricos actúan cambiando el ángulo del trayecto del haz de energía electromagnética que se encuentra enfocado entre ambas antenas

por el fenómeno de la refracción que consiste en el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio hacia otro que posean índices de refracción distintos, de esta manera la velocidad de propagación de dicha onda se verá afectada con el consecuente cambio de dirección del haz de información transmitida expuesto en las líneas anteriores, este es el efecto que se produce al interponerse por ejemplo lluvia o neblina entre los puntos que conforman el sistema de radioenlace, esta lluvia o neblina al tener distinto índice de refracción que el del aire produce el apareamiento del fenómeno de refracción que es el causante del desvanecimiento de la señal que se transmite lo que podría acarrear desde un pequeño bajón en el nivel del campo recibido en su estación colateral hasta la pérdida total de la información en la estación colateral dependiendo del índice de refracción presentada o la distancia que separe las antenas, ya que un pequeño índice de refracción del orden de los pocos milímetros podría desencadenar la pérdida de la señal de transmisión si las antenas se encuentran separadas distancias mayores.

Para evitar estos inconvenientes que se pueden presentar en un sistema de enlace radioeléctrico se han implementado técnicas que permiten reducir la probabilidad de este tipo de fallos, entre los esquemas aumento de fiabilidad aplicados a los sistema de radioenlaces se tienen los siguientes:

- Diversidad de Espacio
- Diversidad de Frecuencia
- 1+1 Hot Stand By
- Nevadas

A continuación, pasaremos a analizar las características de cada uno de estos esquemas aumento de fiabilidad.

#### **2.6.1.11.- DIVERSIDAD EN ESPACIO**

El esquema de aumento de fiabilidad por diversidad de espacio se basa en utilizar dos o más antenas para realizar la radio recepción que generalmente se colocan en una misma torre tanto en el extremo local como en el extremo remoto es decir en las dos estaciones de radio. La separación que deberán tener estas dos antenas entre sí ha sido un tema ampliamente debatido sin

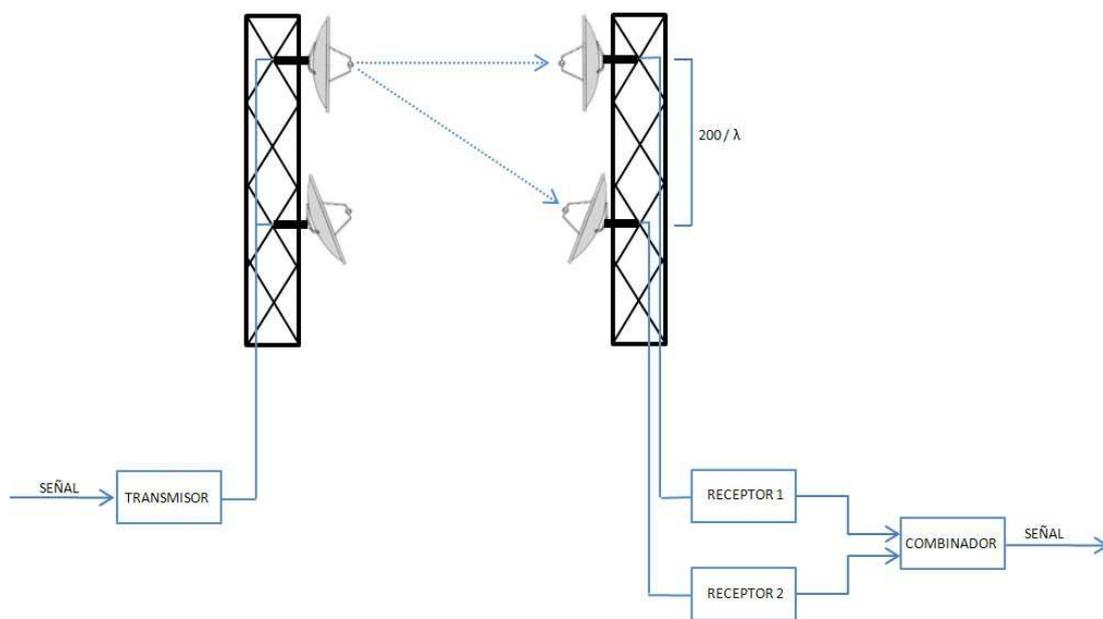
llegarse a un consenso general pero la adopción de la siguiente formula tienen gran aceptación y es una de las más utilizadas:

$$DeA \geq 200 \cdot \lambda$$

Donde:

**DeA** = Distancia entre Antenas

La información es transmitida en una sola frecuencia pero es recibida por dos o más trayectos distintos, estas señales ingresan a receptores individuales, mismos que entregan una señal de salida constante a pesar de posibles desvanecimientos presentados durante la propagación.



**Figura 19.** Diversidad en Espacio

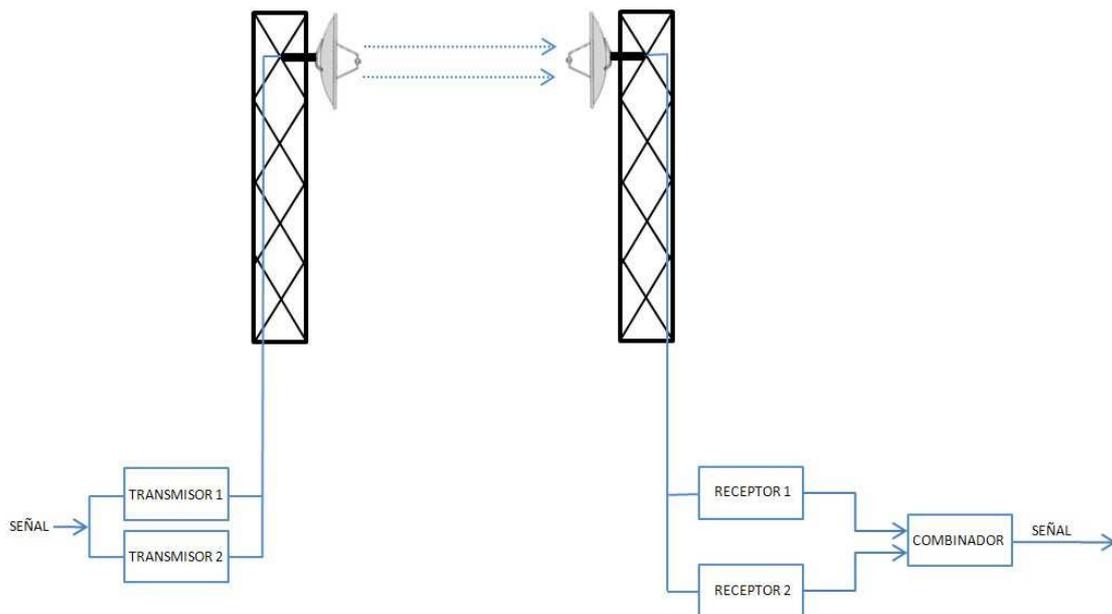
Como se puede apreciar en el grafico adjunto en el esquema de diversidad de espacio la información es enviada en una misma frecuencia por dos trayectos distintos para lo cual se hace necesario la instalación de una segunda antena separada una distancia  $DeA$ , los trayectos se eligen de manera que no exista desvanecimiento simultáneo.

Este esquema presenta la desventaja de tener costos de montaje mas elevados ya que se utilizan mayor numero de antenas, guías de onda, anclajes

y demás sistemas para hacer operativo el enlace lo cual eleva el peso de las instalaciones y por consiguiente se aumenta el estrés que la estructura de la torre tendrá que soportar.

### 2.6.1.12.- DIVERSIDAD EN FRECUENCIA

En el esquema de fiabilidad por diversidad de frecuencia se realiza la transmisión de la información simultáneamente por dos frecuencias distintas, en la recepción el receptor discrimina la señal que tenga una mejor calidad de campo recibida comparando los dos canales y escogiendo la mejor señal con mayor intensidad, este esquema de aumento de fiabilidad emplea una configuración mas económica de hardware y mantenimiento, pero presenta el inconveniente de que al requerir dos frecuencias de operación y con el limitado ancho de banda disponible por el gran numero de radioenlaces que se encuentran operativos se presenta una congestión en ciertas localidades que hace que sea más difícil licitar los permisos de operación necesarios para poder operar estos enlaces, debido a ello estas autorizaciones están restringidas y son autorizadas a servicios de telecomunicaciones donde existen varios canales de comunicación activos en el enlace donde se solicita este esquema de fiabilidad.

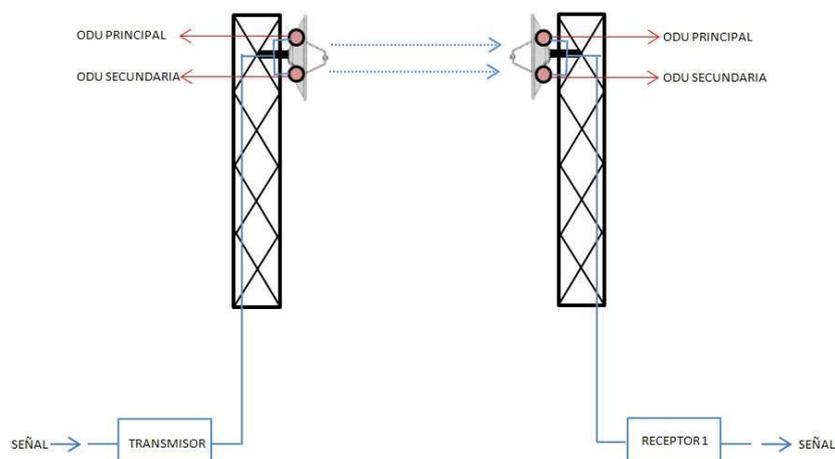


**Fig 20.** Diversidad en Frecuencia

### 2.6.1.13.- 1+1 HOT STAND BY

El esquema de fiabilidad 1+1 Hot Stand By basa su funcionamiento en la arquitectura de ciertos radios de poseer integrados dos sistemas de transmisión IF independientes a los que se les puede acoplar sus respectivas unidades externas conocidas también como ODUs, siendo estas las unidades encargadas de la transmisión RF, la idea es sencilla : poseer dos ODUs independientes acopladas a dos señales de IF de igual manera independientes pero que puedan conmutar sus operaciones dependiendo de cierto grupo de parámetros que pueden ser configurados, de esta manera se suelen colocar dos de estas unidades ODUs sobre dispositivos de acople para ocuparlas con una sola antena transmisora tanto en la estación local como en la estación remota, de esta manera se obtiene un arreglo de dos ODUs por estación : ODU principal y ODU secundaria o de redundancia, esto brinda la posibilidad de contar con una ODU en estado de espera en caso de fallo o degradación de la ODU principal, en dicho caso la conmutación entre ODUS se lleva a cabo a gran velocidad por lo cual no es percibida por la estación receptora de manera transparente.

Una de las principales ventajas de este esquema de fiabilidad es su menor costo de implementación, aunque al tenerse una sola frecuencia de operación y un solo trayecto de transmisión su uso suele estar destinado a enlaces punto a punto en ubicaciones geográficas donde no se presenten fenómenos de altos índices refracción.



**Figura 21.** Esquema Hot Stand By

## **2.6.2.- TECNOLOGIAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE ENLACES DE MICROONDAS DE ALTA FIABILIDAD.**

### **2.6.2.1.- TECNOLOGIA SDH, SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY (JERARQUÍA DIGITAL SINCRÓNICA)**

La tecnología SDH es un estándar avalado internacionalmente para redes de telecomunicaciones ópticas y de microondas, se trata de un estándar de transmisión de canales de alta capacidad basado en el transporte digital de información sincrónico diseñado para proveer una infraestructura más sencilla, económica y flexible para redes de telecomunicaciones.

Debido a los avances presentados en el campo de las fibras ópticas destinados al mejoramiento de la transmisión de señales se ha logrado mejorar las características del medio de transmisión y bajar los precios de las mismas, de igual manera los sistemas SDH basados en enlaces de microondas han venido experimentado bajas de precios considerables con la llegada al mercado de nueva competencia que ha obligado a mejorar la oferta en estos sistemas.

### **2.6.2.2.- SDH: PRINCIPIOS BÁSICOS**

En 1988, el CCITT, basado en la primera parte de la norma SONET, elaboró la llamada SDH (Synchronous Digital Hierarchy, Jerarquía Digital Sincrónica) con el mismo principio de multiplexado sincrónico y capacidad de reserva.

La primer jerarquía de velocidad sincrónica fue definida como STM-1 (Synchronous Transport Module, Módulo de Transporte Sincrónico) de 155.520 Mb/s.

La particularidad de la jerarquía SDH es la posibilidad de multiplexación sucesiva de módulos STM-1 por el simple entrelazado de Bytes. Por ello, no resulta necesario definir la trama para velocidades superiores a 155 Mb/s; el STM- 1 es la primera y única trama definida.

Los siguientes niveles se obtienen como  $N \times \text{STM-1}$ , habiendo definido el CCITT el  $4 \times \text{STM-1} = 622.08 \text{ Mb/s}$  y  $16 \times \text{STM-1} = 2488.32 \text{ Mb/s}$  (aproximadamente 2.5 Gb/s)<sup>7</sup>, encontrándose en discusión sistemas STM-8 , STM-12 y STM-64 (10 Gbits/s).

Todas las señales tributarias, de cualquier jerarquía y origen, deben poder acomodarse a la estructura sincrónica del STM-1.

Los tributarios (sincrónicos o plesiócronicos) se acomodan en un contenedor C (Container) que será distinto para cada velocidad. A cada contenedor se le agrega un encabezado o sobrecapacidad de reserva llamada tara de trayecto (TTY) o POH (Path Overhead) para operación, administración y mantenimiento, y un puntero, PTR, formándose lo que se conoce como unidad tributaria TU (Tributary Unit). Finalmente las TU son multiplexadas byte a byte (cada uno equivale a 64kb/s) y con el agregado de información adicional de administración de la red, se forma el módulo STM-1.

Si se desea niveles superiores, basta con volver a multiplexar byte a byte (por simple intercalación) N módulos STM-1, para obtener STM-N.

### **2.6.2.3 SDH: FORMACIÓN Y ESTRUCTURAS MULTIPLEX**

En SDH la carga se acomoda en contenedores. Cuando esta carga es plesiócrona, es necesario adaptar el reloj de la carga al reloj de los contenedores. El procedimiento es similar al utilizado en los MUX PDH.

La capacidad de carga es ligeramente superior a la necesaria. Estos contenedores disponen de bits adicionales que pueden o no contener información, así como bits que indican si en esas posiciones va o no información, es decir se utiliza justificación por bits (relleno adaptativo). Una vez creado el contenedor en los multiplexores de frontera, la red ya no tiene que mirar dentro del mismo hasta el punto en el cual el contenido es devuelto a un elemento de la red. Como ya se dijo, el ajuste de velocidades de los contenedores entre nodos se hace a través de los punteros.

Cada uno de los contenedores creado recibe un encabezamiento, llamado tara de trayecto (TTY o POH). El POH contiene información para uso en los extremos del trayecto (canales de servicio, información para verificación de errores, alarmas, etc.). Los punteros apuntan al primer byte del encabezamiento de trayecto. Los contenedores a los cuales se ha agregado su POH se llaman contenedores virtuales VC (Virtual Container).

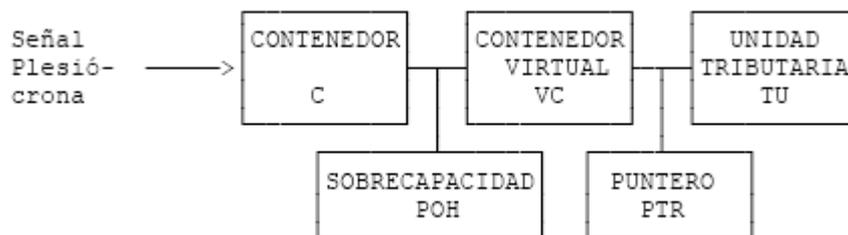
Cada uno de los VC es transportado en un espacio al cual está asignado un puntero, que indica el primer byte del VC respectivo.

Las señales tributarias (como puede ser una de 140 Mb/s) se disponen en el VC para su transmisión extremo a extremo a través de la red SDH.

El VC se ensambla y desensambla una sola vez, aunque puede atravesar muchos nodos mientras circula por la red.

Por lo tanto, la trama STM-n siempre contendrá un área de punteros para las unidades administrativas.

Posteriormente se agrega el puntero PTR, que es el direccionamiento de cada VC dentro de la estructura, obteniéndose la unidad tributaria TU. El proceso puede observarse en la figura:



**Figura 22.** Contenedor Virtual.

#### 2.6.2.4 SDH: CAPACIDAD DE CANALES

Identidad	Velocidad	Canales a 64 kb/s
STM-1	155.520 kb/s	63x30= 1890
STM-4	622.080 kb/s	4x1890= 7560
STM-16	2.488.320 kb/s	4x7560= 30240

### 2.6.2.5 PDH: PLESYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY (JERARQUÍA DIGITAL PLESINCRÓNICA)

El término plesiócrono se deriva del griego plesio, cercano y chronos, tiempo, y se refiere al hecho de que las redes PDH funcionan en un estado donde las diferentes partes de la red están “casi”, pero no completamente sincronizadas. La tecnología PDH, por ello, permite la transmisión de flujos de datos que, nominalmente, están funcionando a la misma velocidad (bit rate), pero permitiendo una cierta variación alrededor de la velocidad nominal gracias a la forma en la que se construyen las tramas.

Veamos un ejemplo que nos permitirá aclarar el concepto presentado en las líneas anteriores:

Supongamos que tenemos dos relojes que, nominalmente, funcionan a la misma velocidad, señalando 60 segundos cada minuto. Sin embargo, al no existir enlace alguno entre los dos relojes que garantice que ambos van exactamente a la misma velocidad, es muy probable que uno de ellos vaya ligeramente más rápido que el otro.

PDH se basa en canales de 64 kbps. En cada nivel de multiplexación se van aumentando el número de canales sobre el medio físico.

Es por eso que las tramas de distintos niveles tienen estructuras y duraciones diferentes. Además de los canales de voz en cada trama viaja información de control que se añade en cada nivel de multiplexación, por lo que el número de canales transportados en niveles superiores es múltiplo del transportado en niveles inferiores, pero no ocurre lo mismo con el régimen binario. En la tabla que sigue se muestran los distintos niveles de multiplexación PDH utilizados en Europa que a su vez es la norma utilizada en nuestro país.

Europa		
Circuitos	Kbit/s	Denominación
30	2,048	(E1)
120	8,448	(E2)
480	34,368	(E3)
1920	139,264	(E4)

**Tabla 1.** Niveles de Multiplexado

### **2.6.2.6.- NIVELES JERÁRQUICOS**

La velocidad básica de transferencia de información, o primer nivel jerárquico, para la norma E1 europea, es un flujo de datos de 2,048 kbps (generalmente conocido de forma abreviada por “2 megas”).

Para transmisiones de voz, se digitaliza la señal mediante MIC usando una frecuencia de muestreo de 8 kHz (una muestra por cada 125  $\mu$ s) y cada muestra se codifica con 8 bits con lo que se obtiene un régimen binario de 64 kbps (abreviado como “64K”). Agrupando 30 canales de voz más otros 2 canales de 64 kbps, utilizados para señalización y sincronización, formamos un flujo PDH E1. De forma alternativa es posible también utilizar el flujo completo de 2 megas para usos no vocales, tales como la transmisión de datos.

La velocidad del flujo de datos 2 megas es controlada por un reloj en el equipo que la genera. A esta velocidad se le permite una variación, alrededor de la velocidad exacta de 2,048 Mbps, de  $\pm 50$  ppm (partes por millón). Esto significa que dos flujos diferentes de 2 megas pueden estar (y probablemente lo están) funcionando a velocidades ligeramente diferentes uno de otro.

Al fin de poder transportar múltiples flujos de 2 megas de un lugar a otro, estos son combinados, o multiplexados en grupos de cuatro en un equipo multiplexor. La multiplexación se lleva a cabo tomando un bit del flujo 1, seguido por un bit del flujo 2, luego otro del 3 y finalmente otro del 4. El multiplexor además añade bits adicionales a fin de permitir al demultiplexor del extremo distante decodificar qué bits pertenecen a cada flujo de 2 megas y así reconstituir los flujos originales. Estos bits adicionales son, por un lado, los denominados bits de justificación o de relleno y por otro una combinación fija de unos y ceros que es la denominada palabra de alineamiento de trama que se transmite cada vez que se completa el proceso de transmisión de los 30+2 canales de los 4 flujos de 2 megas, que es lo que constituye una trama del orden superior (8 megas).

La necesidad de los bits de relleno o justificación es que como cada uno de los flujos de 2 megas no está funcionando necesariamente a la misma velocidad que los demás, es necesario hacer algunas compensaciones.

Para ello el multiplexor asume que los cuatro flujos están trabajando a la máxima velocidad permitida, lo que conlleva que, a menos que realmente esté sucediendo esto, en algún momento el multiplexor buscará el próximo bit, pero este no llegará, por ser la velocidad del flujo inferior a la máxima.

En este caso el multiplexor señalará (mediante los bits de justificación) al demultiplexor que falta un bit. Esto permite al demultiplexor reconstruir correctamente los flujos originales de los cuatro 2 megas y a sus velocidades plesiócronicas correctas.

La velocidad del flujo resultante del proceso antes descrito es de 8,448 Mbps (8 megas) que corresponde al segundo nivel jerárquico.

Por procedimientos similares se llega a los niveles tercero, constituido por 4 flujos de 8 megas y una velocidad de 34,368 Mbps (34 megas) y cuarto, formado por 4 flujos de 34 megas y una velocidad de 139,264 Mbps (140 megas).

De la misma forma, mediante la multiplexación de 4 flujos de 140 megas, se forma un flujo de 565 Mbit/s, pero su estructura y proceso de multiplexación, al contrario de lo que sucede con los cuatro niveles precedentes, no han sido normalizados por los organismos de normalización especializados UIT y CEPT, por lo que los flujos generados por los equipos de un fabricante pueden ser, y de hecho lo son, incompatibles con los de otro fabricante, lo que obliga a que el enlace completo de 565 Mbps esté constituido con terminales del mismo fabricante.

La velocidad de 565 Mbps es la típica de los sistemas de transmisión por fibra óptica, aunque en el pasado se ha utilizado, aunque con escaso éxito por sus estrictos requerimientos, sobre cables coaxiales. Los equipos PDH están siendo actualmente reemplazados por equipos de tecnología SDH en la mayoría de las redes de telecomunicación debido a las mayores capacidades de transmisión de estos y a sus mejores condiciones para la operación y mantenimiento centralizado.

	PDH	SDH
Tipo de red	Plesiócrona.	Sincrónica.
Tipo de multiplexado	Asincrónico Interca- lación por bits.	Sincrónico con punteros Intercalación por byte.
Estructura de trama	Distinta para c/nivel	Idéntica en todos los niveles.
Adaptación de tiempo	Justificación positiva de bits.	Justificación positiva- cero-negativa de byte.
Acceso a canales de bajo nivel	Solo por demultiplexado	Por simple evaluación del puntero.
Velocidades máximas	No especificadas las mayores de 140 Mb/s.	Especificada Nx155.52 Mb/s. Hasta N=255

**Tabla 2** .Comparación entre las tecnologías PDH y SDH

## 2.7.- CONTROL AUTOMATICO BASADO EN TECNOLOGIA FUZZY LOGIC (LOGICA DIFUSA)

### 2.7.1.- CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LÓGICA DIFUSA

La lógica difusa es un método de toma de decisiones basado en reglas usadas por sistemas expertos para realizar procesos de control.

La lógica difusa difiere de la lógica tradicional booleana en que permite incluir en un conjunto de reglas valores intermedios que en la lógica booleana basado en niveles de 0 ó 1 no podían ser incluidos, es así que la lógica booleana basa su accionar en esos dos valores referenciales en el sentido de incluir o excluir si un determinado miembro pertenece o no a su par de conjuntos de validación (verdadero o falso).

Como se había mencionado los valores de uno y cero representan la membrecía o pertenecía de un miembro donde un uno representa absoluta membrecía al conjunto verdadero y cero representa que no existe membrecía al mismo conjunto.

La lógica difusa permite una pertenecía parcial, o un grado de pertenencia, lo que podría ser cualquier valor a lo largo del proceso continuo de cero a uno.

### 2.7.2.- SISTEMAS DIFUSOS

Un sistema difuso es un sistema de variables que son asociados usando lógica difusa.

Un controlador de lógica difusa utiliza reglas definidas para controlar un sistema difuso basado en el valor actual de las variables de entrada.

Un sistemas difuso constará de tres partes principales: variables lingüísticas, funciones de membrecía y reglas.

#### Variables Lingüísticas

Las variables lingüísticas representan, en palabras, las variables de entrada y las variables de salida de el sistema que se desea controlar.

Por ejemplo para un calentador es posible tener os variables de entrada lingüística, **temperatura actual** y **temperatura deseada**, y una variable lingüística de salida llamada **calentador**.

Cada variable lingüística tiene un rango de valores esperados, por ejemplo, el rango de temperatura actual podría ser de 0 a 100 grados y el rango de la temperatura deseada podría ser 50 a 80 grados.

Un controlador difuso requiere de por lo menos una variable lingüística de entrada y una variable lingüística de salida.

### 2.7.3.- FUNCIONES DE MEMBRECÍA

Los términos lingüísticos representan, en palabras, categorías para los valores de una variable lingüística. Remitiéndonos a nuestro ejemplo inicial, las variables lingüísticas temperatura actual y temperatura deseada pueden incluir los términos lingüísticos frío, moderado y caliente y de igual manera la variable lingüística calentador pueden incluir los términos lingüísticos apagado, bajo y alto.

Una función de membrecía representa el grado de pertenencia las variables lingüísticas dentro de su término lingüístico.

El grado de pertenencia es continuo entre 0 y 1, donde 0 es igual al 0% y 1 es igual al 100% de pertenencia, por ejemplo la variable lingüística **temperatura actual** podría tener total pertenencia (1) dentro del término lingüístico caliente a 100 grados y no tendría membrecía (0) dentro del término correspondiente de 70 grados o menos y parcial pertenencia para todas las temperaturas entre 70 y 100 grados.

### 2.7.4.- ESTABLECIMIENTO DE REGLAS

Las reglas describen, en palabras, las relaciones entre las variables lingüísticas de entrada y de salida basadas en sus términos lingüísticos, por ejemplo la siguiente regla podría ser definida:

**IF** *temperatura actual es fría* **Y** *temperatura deseada es moderada* **THEN** *estatus de calentador bajo.*

Las cláusulas “temperatura actual es fría” y “temperatura deseada es moderada” son los antecedentes de esta regla.

El conector lógico AND especifica como el controlador difuso se refiere a los dos antecedentes para determinar el valor de verdad de la regla.

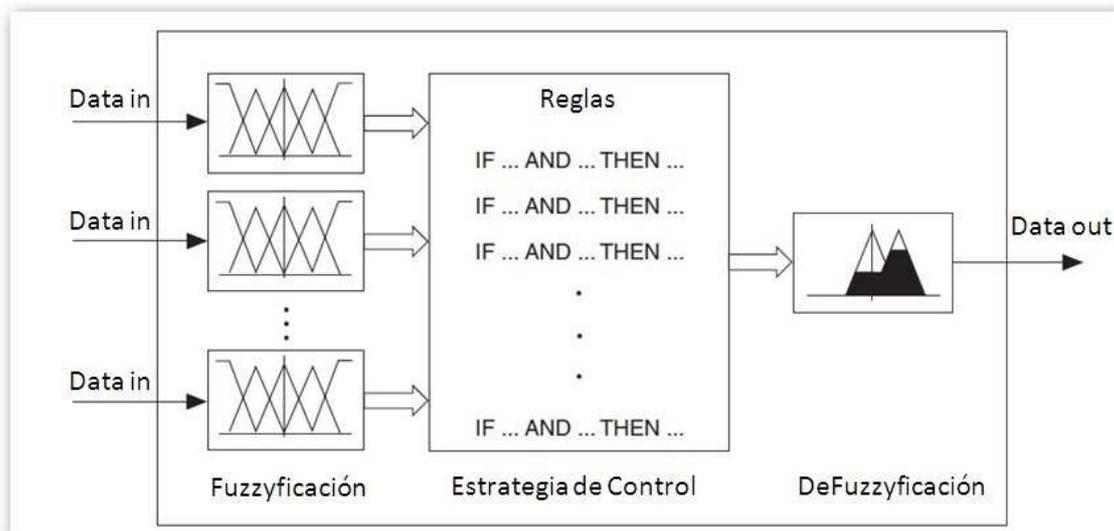
La cláusula “estatus de calentador bajo” es la consecuencia de esta regla.  
Una base de reglas es el conjunto de reglas para un sistema difuso. La base de reglas es equivalente a la estrategia de control del controlador.

### 2.7.5 .- CONTROLADORES DIFUSOS

Se puede usar controladores difusos para controlar sistemas difusos. Los sistemas tradicionales de control requieren algoritmos basados en modelos matemáticos del sistema que se requiere controlar.

Sin embargo, muchos sistemas físicos son difícilmente modelables o imposible de hacerlo para expresarlos de manera matemática.

Adicionalmente muchos procesos suelen tener naturaleza no lineal incrementando la complejidad para generar el sistema de control con estrategias tradicionales. Ahora por el lado de la lógica difusa si se puede describir una estrategia de control cualitativamente es posible utilizar lógica difusa para crear un controlador difuso que emule las estrategias de control basadas en las variables lingüísticas previamente definidas.



**Figura 23.** Procesos de un Controlador Difuso

### 2.7.6.- FUZZYFICACIÓN

Es el proceso de asociar valores de entrada con términos lingüísticos de las variables de entrada lingüística correspondiente.

Por ejemplo, un controlador de lógica difusa puede asociar la lectura de la temperatura de un termómetro con los términos lingüísticos frío, moderado y caliente, para la variable lingüística *temperatura actual*. Dependiendo de la composición de las funciones, de los términos lingüísticos, el valor de la temperatura podría corresponder a uno o más de los términos lingüísticos.

### 2.7.7.- IMPLEMENTANDO UNA ESTRATEGIA DE CONTROL LINGÜÍSTICA

Luego de que un controlador difuso fuzzifica los valores de entrada de un sistema difuso, el controlador de lógica difusa utiliza los términos lingüísticos correspondientes a la entrada y la base de reglas determinar los términos lingüísticos de la variable lingüística de salida.

Por ejemplo, supongamos que la temperatura actual de un cuarto es 50 grados, que corresponde al término lingüístico frío con un grado de membresía de 0,4. También supongamos que la temperatura deseada es 70, que corresponde al término lingüístico moderado con un grado de membresía de 0,8.

El controlador difuso invoca la siguiente regla del sistema difuso: **IF** *temperatura actual es fría* **AND** *temperatura deseada es moderada*, **THEN** *estatus de calentador es bajo*.

Nótese que esta regla consiste de dos antecedentes “*temperatura actual es fría*” y “*temperatura deseada es moderada*”. El valor de verdad cada antecedente es igual al grado de membresía de la variable lingüística dentro del término lingüístico correspondiente.

El controlador de lógica difusa utiliza un conectivo de antecedentes para determinar la forma de calcular el valor de verdad en basándose en sus reglas pero que dependerá de los dos antecedentes. Supongamos que para este ejemplo la regla invocada usa el conectivo AND (Mínimo) como conectivo de antecedentes, el cual especifica la utilización de un pequeño grado de membresía; por tanto, el valor de verdad de los antecedentes agregados es de 0,4.

### 2.7.8.- DEFUZZIFICACION

La defuzzificación es el proceso de convertir el grado de membresía de las variables lingüísticas de salida, dentro de los términos lingüísticos y sus valores numéricos.

Un controlador de lógica difusa puede utilizar uno de varios métodos matemáticos para realizar la defuzzificación, a su vez evalúa sus variables lingüísticas implicadas para convertirlos en un valor de salida numérica única.

Para llevar a cabo la defuzzificación un controlador de lógica difusa puede utilizar uno de varios métodos matemáticos dentro de los cuales los mas utilizados se constituyen los conocidos como, Centro de Área (CoA), y Centro de Área modificada (CoA),

#### 2.7.8.1.-CENTRO DE ÁREA (COA)

En el método de defuzzificación por Centro de Área (CoA), también llamado método de centro de gravedad (cdg), el controlador difuso primero calcula el área en virtud de las funciones de pertenencia a escala y dentro del rango de la salida variable. El controlador de lógica difusa a continuación, utiliza la siguiente ecuación para calcular el centro geométrico de esta zona.

$$CoA = \frac{\int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x) \cdot x \, dx}{\int_{x_{min}}^{x_{max}} f(x) \, dx}$$

**Fig.** Defuzificacion por el método de Centro de Área.

Donde CoA es el centro de area, x es el valor de la variable lingüística y Xmin & Xmax representa el rango de la variable lingüística.

El método de defuzificacion de centro de área calcula efectivamente el mejor resultado entre múltiples términos lingüísticos de salida.

### 2.7.8.2.-CENTRO DE ÁREA MODIFICADO (mCOA)

Debido a que el método basado en centro de área, evalúa el área bajo la función de membrecía solamente dentro del rango de la variable lingüística de salida, el resultado no puede escalarse a su rango completo, para solventar este problema se utiliza el método del centro de área modificado, este es similar al método de centro de área, sin embargo el controlador difuso considera el área total bajo las funciones de membrecía, por si acaso esta área se extienda mas allá de el rango de la variable de salida, para lograr este cometido el controlador difuso utiliza la siguiente ecuación.

$$mCoA = \frac{\int f(x) \cdot x dx}{\int f(x) dx}$$

**Fig.** Defuzzificación por el método de Centro de Área Modificado.

## 2.8.- MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes.

Dependiendo del tipo de corriente utilizada para su alimentación, se clasifican en:

- *Motores de corriente continua*
  - De excitación independiente.
  - De excitación serie.
  - De excitación (shunt) o derivación.
  - De excitación compuesta (compund).
- *Motores de corriente alterna*
  - Motores síncronos.
  - Motores asíncronos:
    - Monofásicos.
    - De bobinado auxiliar.
    - De espira en cortocircuito.
    - Universal.
    - Trifásicos.
    - De rotor bobinado.
    - De rotor en cortocircuito (jaula de ardilla).

Todos los motores de corriente continua así como los síncronos de corriente alterna incluidos en la clasificación anterior tienen una utilización y unas aplicaciones muy específicas.

Los motores de corriente alterna asíncronos, tanto monofásicos como trifásicos, son los que tienen una aplicación más generalizada gracias a su facilidad de utilización, poco mantenimiento y bajo coste de fabricación. Veremos a continuación por motivos específicos del presente proyecto de investigación en la constitución, el funcionamiento y la puesta en marcha de los motores asíncronos de inducción.

La velocidad de sincronismo de los motores eléctricos de corriente alterna viene definida por la expresión:

$$n = \frac{60f}{p}$$

Donde:

**n** Número de revoluciones por minuto

**f** Frecuencia de la red

**p** Número de pares de polos de la máquina

Se da el nombre de motor asíncrono al motor de corriente alterna cuya parte móvil gira a una velocidad distinta a la de sincronismo.

### 2.8.1 CONSTITUCIÓN DEL MOTOR ASÍNCRONO DE INDUCCIÓN.

Como todas las máquinas eléctricas, un motor eléctrico está constituido por un circuito magnético y dos eléctricos, uno colocado en la parte fija (estator) y otro en la parte móvil (rotor).



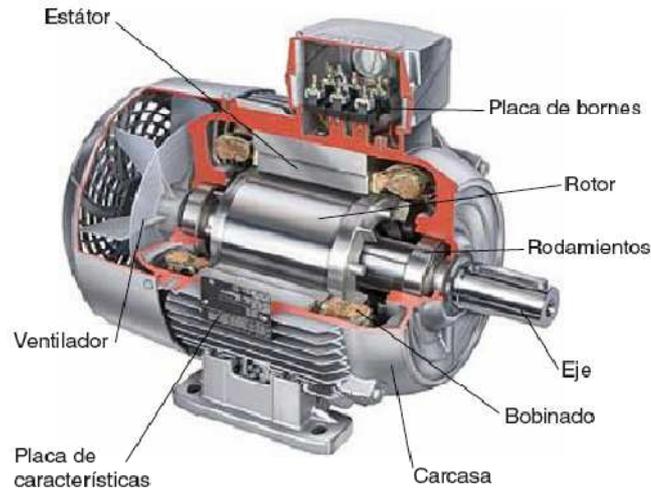
**Figura 24.** Estator y Rotor de motor eléctrico

El cilindro se introduce en el interior del anillo y, para que pueda girar libremente, hay que dotarlo de un entrehierro constante.

El anillo se dota de ranuras en su parte interior para colocar el bobinado inductor y se envuelve exteriormente por una pieza metálica con soporte llamada carcasa.

El cilindro se adosa al eje del motor y puede estar ranurado en su superficie para colocar el bobinado inducido (motores de rotor bobinado) o bien se le incorporan conductores de gran sección soldados a anillos del mismo material en los extremos del cilindro (motores de rotor en cortocircuito) similar a una jaula de ardilla, de ahí que reciban el nombre de rotor de jaula de ardilla.

El eje se apoya en unos rodamientos de acero para evitar rozamientos y se saca al exterior para transmitir el movimiento, y lleva acoplado un ventilador para refrigeración. Los extremos de los bobinados se sacan al exterior y se conectan a la placa de bornes.



**Figura 25.** Sección de motor eléctrico.

### 2.8.2.- PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento del motor asíncrono de inducción se basa en la acción del flujo giratorio generado en el circuito estático sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor. El flujo giratorio creado por el bobinado estático corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas. Suponiendo cerrado el bobinado rotórico, es de entender que sus conductores serán recorridos por corrientes eléctricas.

La acción mutua del flujo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas sobre los propios conductores que arrastran al rotor haciéndolo girar (Ley de Lenz).

La velocidad de rotación del rotor en los motores asíncronos de inducción es siempre inferior a la velocidad de sincronismo (velocidad del flujo giratorio). Para que se genere una fuerza electromotriz en los conductores del rotor ha de existir un movimiento relativo entre los conductores y el flujo giratorio. A la diferencia entre la velocidad del flujo giratorio y del rotor se le llama deslizamiento.

Gracias a los avances en la electrónica de potencia, actualmente se fabrican arrancadores estáticos que pueden regular la velocidad de estos motores actuando sobre la frecuencia de la alimentación del motor, es decir, convierten

la frecuencia industrial de la red en una distinta que se aplica al motor. De ahí que reciban el nombre de convertidores de frecuencia, pudiendo regular la velocidad, amortiguar el arranque e incluso frenarlo.

### **2.8.3.- MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS.**

Son motores en los que el bobinado inductor colocado en el estator está formado por tres bobinados independientes desplazados 120° eléctricos entre sí y alimentados por un sistema trifásico de corriente alterna.

### **2.8.4.-TENSIONES E INTENSIDADES EN EL ESTATOR DE LOS MOTORES TRIFÁSICOS.**

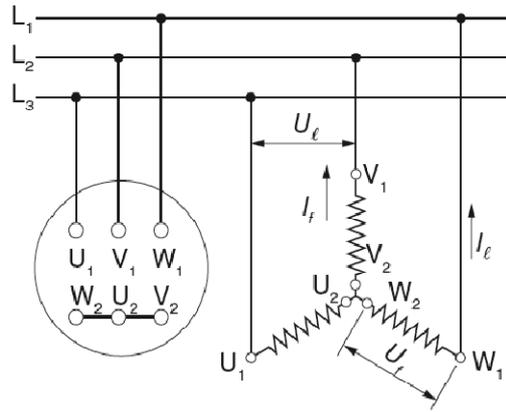
Todo bobinado trifásico se puede conectar en estrella (todos los finales conectados en un punto común, alimentando el sistema por los otros extremos libres) o bien en triángulo (conectando el final de cada fase al principio de la fase siguiente, alimentando el sistema por los puntos de unión).

En la conexión estrella, la intensidad que recorre cada fase coincide con la intensidad de línea, mientras que la tensión que se aplica a cada fase es  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  menor que la tensión de línea.

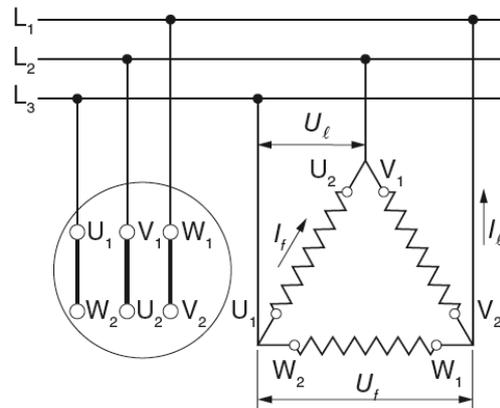
En la conexión triángulo la intensidad que recorre cada fase es  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  menor que la intensidad de línea, mientras que la tensión a la que queda sometida cada fase coincide con la tensión de línea.

$$\text{Conexión Estrella:} \quad U_f = \frac{U_l}{\sqrt{3}} \quad i_f = i_l$$

$$\text{Conexión Triángulo:} \quad U_f = U_l \quad i_f = \frac{i_l}{\sqrt{3}}$$



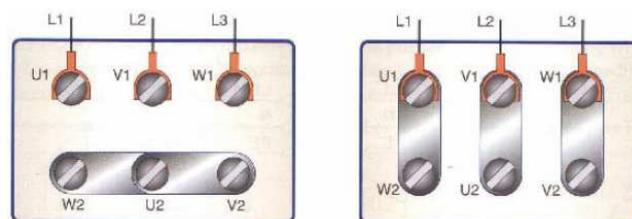
**Figura 26.** Conexión Estrella



**Figura 27.** Conexión triángulo.

En estas condiciones, el motor se puede considerar como bitensión, ya que las tensiones normalizadas son de 230 o 400 V. Si un motor está diseñado para aplicarle 230 V a cada fase, lo podremos conectar a la red de 230 V en triángulo y a la red de 400 V en estrella. En ambos casos, la tensión que se le aplica a cada fase es 230 V.

En una y otra conexión, permanecen invariables los parámetros de potencia, par motor y velocidad. La conexión estrella o triángulo se realiza sobre la placa de bornes mediante puentes como se puede apreciar en la siguiente figura.



**Figura 28.** Conexión estrella y conexión triángulo en bornera de motor.

### 2.8.5.- MOTOR DE ROTOR EN CORTOCIRCUITO

El motor de rotor en cortocircuito es el de construcción más sencilla, de funcionamiento más seguro y de fabricación más económica.

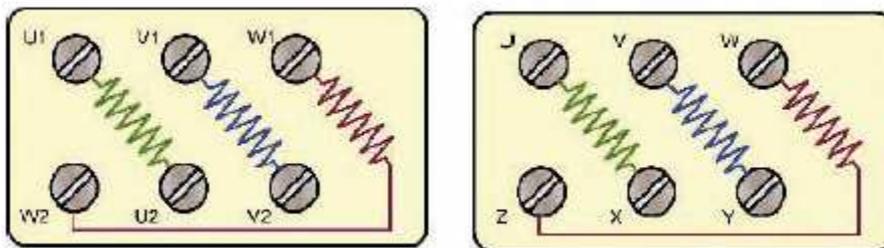
Su único inconveniente es el de absorber una elevada intensidad en el arranque a la tensión de funcionamiento.

En el momento del arranque este motor acoplado directamente a la red presenta un momento de rotación de 1,8 a 2 veces el de régimen, pero la intensidad absorbida en el arranque toma valores de 5 a 7 veces la nominal.

Para facilitar el conexionado en la placa de bornes de los extremos del bobinado inductor se disponen como muestra la siguiente figura.



**Figura 29.** Bornera de motor trifásico



**Figura 30.** Distribución típica de bobinados

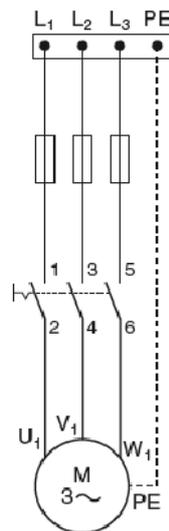
Su puesta en marcha se realiza de una forma simple y sencilla mediante un interruptor manual. Estos interruptores han de estar diseñados para la intensidad del motor.

La intensidad en el momento del arranque de motores que no cumpla esta relación puede hacer que salten las protecciones o bien perjudicar las líneas que los alimentan.

Para evitar estos inconvenientes se disminuye la tensión en el periodo de arranque y con ello la intensidad, y una vez alcanzada la velocidad de régimen se conecta el motor a su tensión nominal, con lo que se logra amortiguar la intensidad de arranque. Para conseguir esto uno de los métodos más utilizados es el denominado estrella-triángulo mismo que vemos a continuación.



**Figura 31.** Interruptores Trifásicos para distintas intensidades.

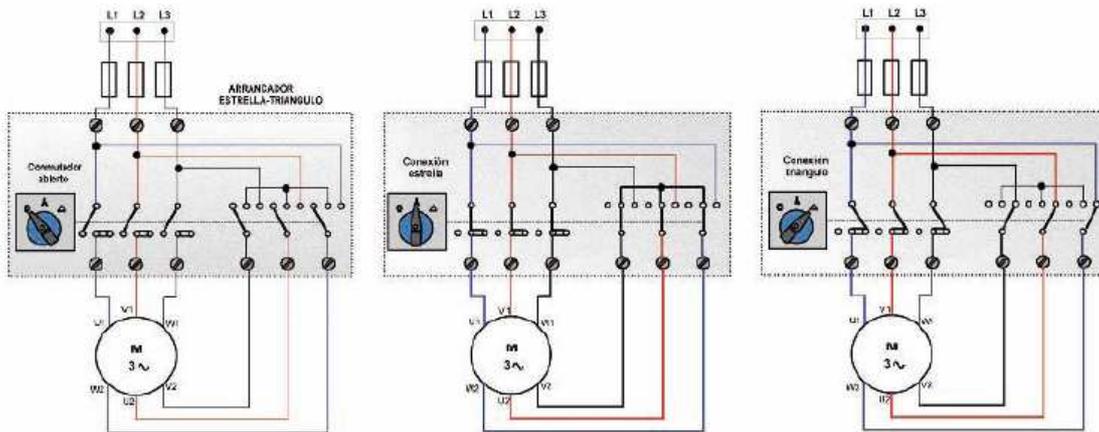


**Fig32.** Arranque directo de un motor trifásico de forma manual.

### 2.8.6.- ARRANQUE ESTRELLA TRIÁNGULO ( $\lambda - \Delta$ )

El procedimiento más empleado para el arranque de motores trifásicos de rotor en cortocircuito consiste en conectar el motor en estrella durante el periodo de arranque y, una vez lanzado, conectarlo en triángulo para que quede conectado a la tensión nominal.

Para ello, se hace necesario intercalar entre el motor y la línea un conmutador manual especial que realiza las conexiones de los extremos del bobinado del motor, sin realizar los puentes sobre la placa de bornes.



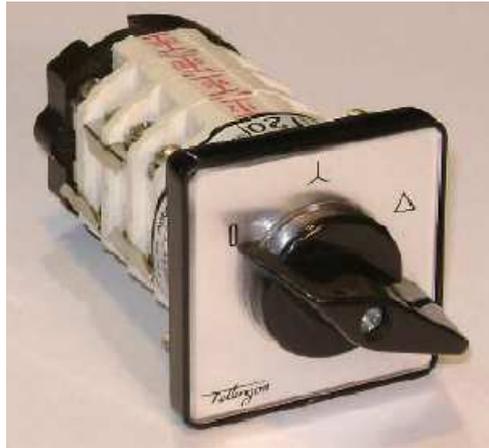
**Figura 33.** Arranque estrella-triángulo de motor trifásico mediante arrancador manual.

Este conmutador posee tres posiciones: la inicial de desconexión, la siguiente que conecta los bobinados del motor en estrella y la tercera que conecta los bobinados en triángulo.

La parada se hace de forma inversa, en el mercado podemos encontrar distintos modelos de conmutadores y para distintas intensidades, para poder utilizar este método, es necesario que el motor pueda funcionar en conexión triángulo a la tensión de la red. En consecuencia, cuando en el arranque lo conectamos en estrella, cada fase queda sometida a una tensión  $\sqrt{3}$  menor que la de línea y, por lo tanto, la intensidad que circula por ella es también  $\sqrt{3}$  menor que si estuviese conectado en triángulo.

Teniendo en cuenta que si lo conectásemos en triángulo la intensidad en la línea es  $\sqrt{3}$  mayor que la de fase, mientras que en estrella son iguales, resulta que el mismo motor arrancado en estrella consume una intensidad  $\sqrt{3} \times \sqrt{3} = 3$  veces menor que si lo conectamos en triángulo.

Por esta misma razón, el momento de rotación también se reduce en un tercio.



**Figura 34.** Arrancador Manual Estrella-Triángulo.

## **2.9.- PROTECCION DE MOTORES ELÉCTRICOS**

Las principales causas por las que estos dispositivos sufren daños irreparables, se deben a las alteraciones del suministro eléctrico, exceso de trabajo mecánico asociado y problemas en la instalación eléctrica que alimenta al motor.

En un segundo plano se encuentran los problemas asociados al deterioro de las partes que componen el motor.

Tanto los motores monofásicos como los trifásicos son susceptibles a desperfectos debido a las causas antes mencionadas.

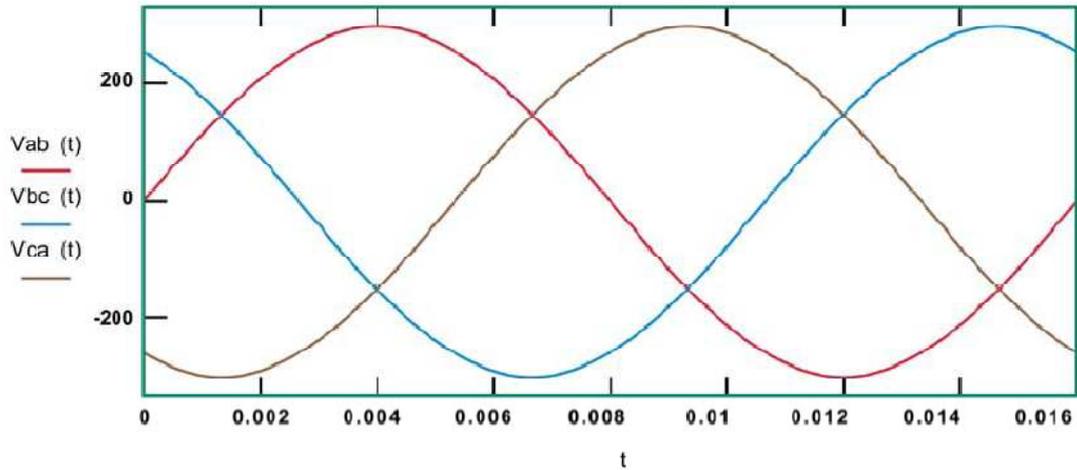
### **2.9.1.- ALTERACIONES DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO**

El desbalance de voltaje, la pérdida de una fase, la inversión de secuencia, el bajo voltaje y alto voltaje son alteraciones del suministro eléctrico que causan daños irreversibles a los motores eléctricos.

Estas alteraciones dañan los motores y reducen su tiempo de vida. Incluso, pueden ocasionar accidentes que involucren al personal humano que interactúen con ellos.

#### **2.9.1.1.-SUMINISTRO ELÉCTRICO**

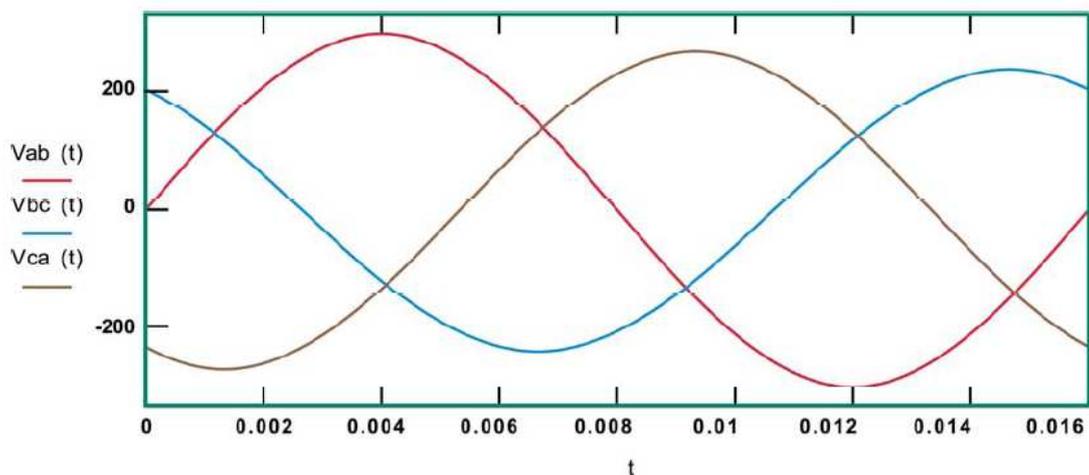
La distribución de energía eléctrica consiste en el suministro de energía, mediante tres ondas de tensión sinusoidales desfasadas una de la otra en 120 grados. Una manera de representar estas formas de onda es la gráfica de voltaje en función del tiempo como se puede ver a continuación.



**Figura 35.** Ondas de tensión sinusoidales.

### 2.9.1.2.-DESBALANCE DE VOLTAJE

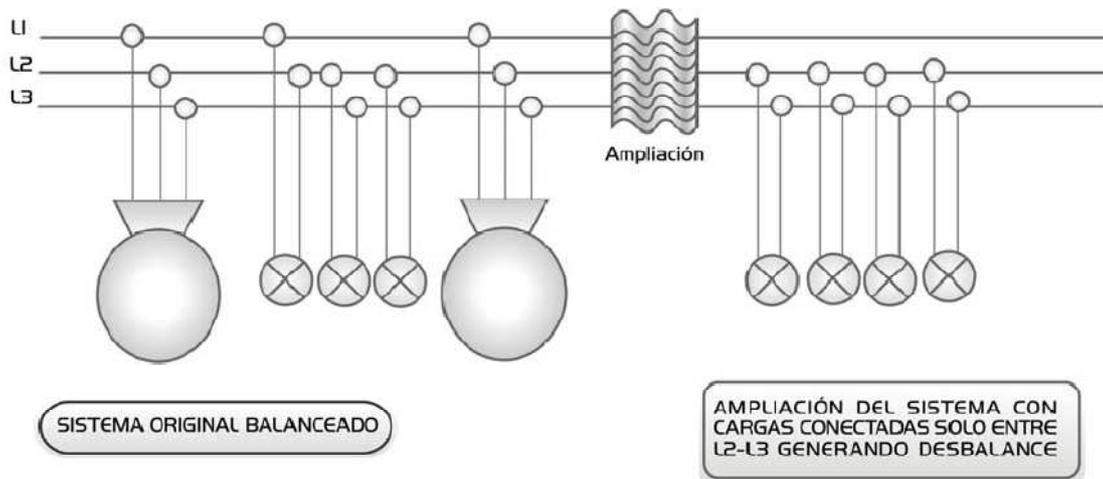
El desbalance de voltaje (VUB) es la alteración del suministro eléctrico más dañina a la que puede estar sometido un motor eléctrico. Aparece con la incorporación desbalanceada de cargas monofásicas a las líneas, provocando que unas tengan más o menos carga que otras. Esta incorporación asimétrica de cargas monofásicas, provocará valores de voltaje distintos entre las fases.



**Figura 36.** Desbalance de Voltaje.

Generalmente, en las instalaciones nuevas se pone especial cuidado en balancear la distribución de las cargas en cada fase. Sin embargo, a medida

que se incorporan nuevos equipos monofásicos al suministro eléctrico comienza a presentarse el desbalance de voltaje.



**Figura 37.** Desbalance de Voltaje.

Las normas NEMA (National Electrical Manufacturers Association) establecen el desbalance de voltaje (VUB), como la máxima desviación de uno de los voltajes de fase con respecto al promedio de los tres voltajes de fase.

Voltaje Promedio

$$V_{prom} = \frac{V1 + V2 + V3}{3}$$

Desviación de cada voltaje con respecto al voltaje promedio,

$$V1 = \frac{|V1 - V_{prom}|}{V_{prom}} \times 100$$

$$V2 = \frac{|V2 - V_{prom}|}{V_{prom}} \times 100$$

$$V3 = \frac{|V3 - V_{prom}|}{V_{prom}} \times 100$$

Expresándose el desbalance de voltaje como,

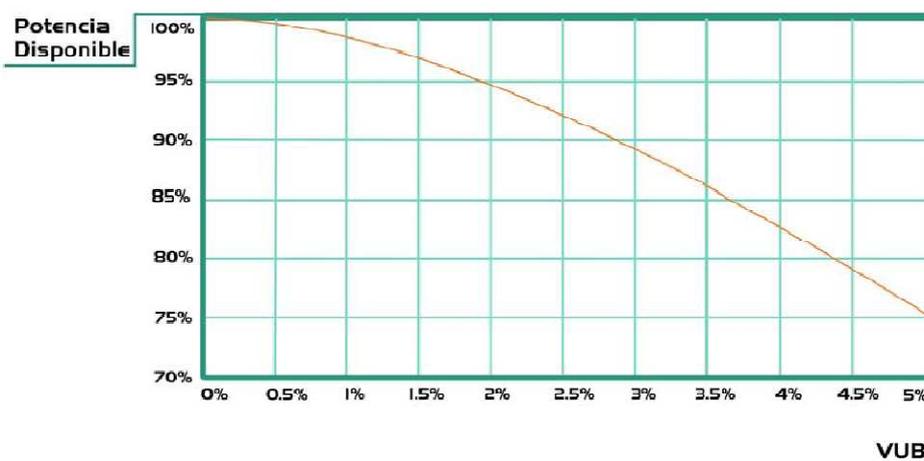
$$VUB = (V1, V2, V3)$$

El principal problema que provocará el desbalance de voltaje (VUB) a un motor eléctrico en marcha, es el aumento de la temperatura del motor. Ello, debido a la aparición de corrientes de secuencia negativa en sus devanados.

Estas corrientes, producirán un campo electromagnético contrario al que impulsa el sentido de giro que posee el motor. Este campo electromagnético contrario, provocara una pérdida de la potencia relativa del motor y dicha perdida se convertirá en más calor para los devanados.

Un desbalance de voltaje (VUB) del 5% provocara una pérdida de la potencia relativa del 25% y un aumento del calor presente en los devanados del motor. El aumento del calor deteriorará de manera progresiva y acumulativa dichos devanados y en consecuencia disminuirá la vida útil del motor.

El porcentaje de sobrecalentamiento del motor será directamente proporcional a dos veces el cuadrado del porcentaje de desbalance de voltaje (VUB).

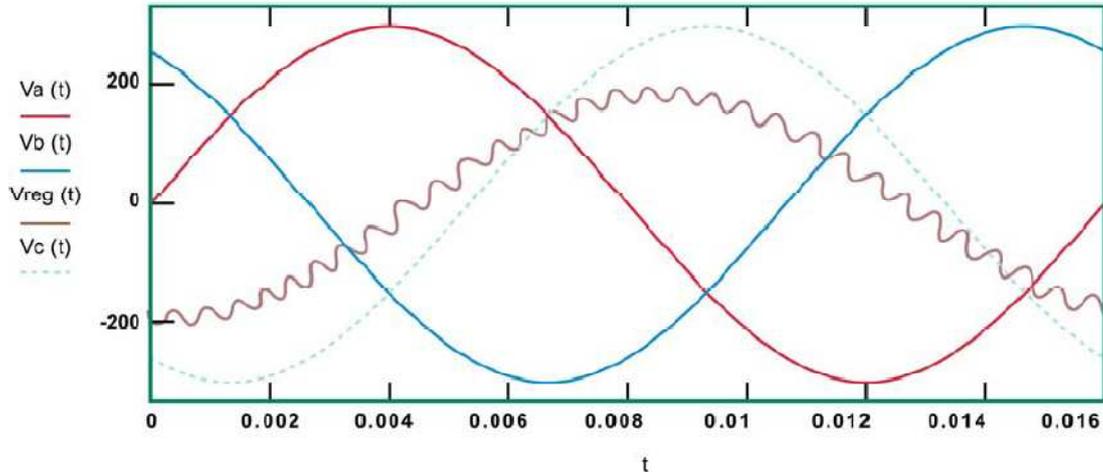


**Figura 38.** Pérdida de potencia producida por desbalance de voltaje.

### 2.9.1.3.-PÉRDIDA DE UNA FASE

La pérdida de una fase (VSP) se considera como el caso extremo de un desbalance de voltaje.

Un motor trifásico en marcha que pierda una fase (VSP), continuara girando obteniendo la energía que requiere de las dos fases restantes, esto se traduce en un aumento significativo de las corrientes en las fases restantes y en consecuencia de la temperatura de los devanados del motor. En muchos casos, dependiendo de la carga asociada, el motor es capaz de regenerar la fase perdida.



**Figura 39.** Pérdida de fase y regeneración a partir de carga asociada.

La frecuencia Fundamental de la onda regenerada es la misma, pero la amplitud y la fase varían. Para reconocer una onda regenerada se hace necesario detectar la desviación del ángulo de fase de dicha onda y la variación del desbalance del sistema.

Al poner en marcha un motor trifásico en ausencia de una fase, este consumirá en las dos fases restantes, una corriente equivalente a la denominada como rotor trancado (LRA). Dicha corriente generará un sobrecalentamiento de tal magnitud, que en pocos segundos destruirán completamente los devanados del motor.

#### 2.9.1.4.-INVERSIÓN DE SECUENCIA

La inversión de dos de las tres fases, puede causar daños a maquinas o producir accidentes personales al hacer girar los motores en sentido inverso.

Una inversión en la secuencia de las fases, suele ocurrir cuando se modifican las instalaciones eléctricas y durante las labores de mantenimiento del cableado.

#### 2.9.1.5.-BAJO VOLTAJE Y SOBREVOLTAJE:

Las condiciones de bajo voltaje (UV) y sobre voltaje (OV) se deben principalmente a sobrecarga de los circuitos y/o regulación defectuosa.

Un motor eléctrico que opere en presencia de bajo voltaje (UV), aumentará las corrientes de trabajo y en consecuencia se sobrecalentarán sus arrollados.

Una combinación de voltaje bajo (UV) y desbalance de voltaje (VUB) producirá un mayor sobrecalentamiento del que producen estas alteraciones por separado.

Una variación del  $-10\%$  del voltaje de operación especificado por el fabricante del motor, se traducirá en un peligroso incremento de las corrientes y un sobrecalentamiento de los devanados del mismo.

Un motor eléctrico que opere en presencia de sobre voltaje (OV) se sobrecalentará innecesariamente. Esta condición es especialmente peligrosa si el motor se encuentra a rotor trancado, la corriente que consumirá será superior a la corriente a rotor trancado (LRA).

## **2.10.-PROTEGIENDO MOTORES TRIFASICOS:**

Proteger los motores trifásicos, se ha vuelto una necesidad imperativa para los usuarios y/o propietarios de los mismos. Ello debido a las pérdidas económicas que implican la reparación o reposición del motor dañado y las asociadas al servicio que dejaron de prestar estando fuera de operación.

La protección de un motor trifásico debe de contemplar problemas asociados a voltajes y al consumo de corriente. Para ello, se requieren de dispositivos que estén en capacidad de supervisar los valores de voltaje y de las corrientes, con que opera el motor.

Muchos dispositivos en el mercado ofrecen protección de motores trifásicos, la oferta es amplia y contempla desde los clásicos relés térmicos de sobrecarga, los supervisores electrónicos de voltaje, los relés electrónicos de sobrecarga, hasta las últimas tecnologías de protecciones integrales y las protecciones totales para motores trifásicos. Las dos últimas ofrecen protección al motor procesando digitalmente los valores de las corrientes, de los voltajes y de la temperatura del motor simultáneamente.

### **2.10.1.-RELÉS TÉRMICOS DE SOBRECARGA**

Generalmente la protección más utilizada en las aplicaciones de motores trifásicos es el relé térmico de sobrecarga. A través de él fluyen las corrientes que consume el motor, calentándose y enfriándose de igual manera que este.

Para ello, hacen uso de unas resistencias calentadoras por las que fluyen las corrientes del motor. Si el calor acumulado en las resistencias es mayor o igual al máximo permitido, un contacto asociado a estas, se dilatará por efecto del calor y desenergizará al motor. En ese momento, el relé térmico comenzará a enfriarse y cuando el calor remanente llegue a un nivel seguro, energizará nuevamente al motor. Por lo general los relés térmicos de sobrecarga poseen un selector, que permite programar su rearme de manera manual o automática. Proteger un motor trifásico exclusivamente con un relé térmico de sobrecarga, es un error en el que incurren muchos profesionales electrotécnicos con consecuencias desastrosas. Estos relés, tan solo actúan en función del calor acumulado producto de las corrientes que fluyen por ellos, siendo incapaces de tomar en cuenta el sobrecalentamiento que provoca al motor el desbalance de voltaje.

Adicionalmente en condiciones de fallas de voltaje sostenidas en el tiempo, del tipo bajo voltaje, sobre voltaje o pérdida de una fase, los relés térmicos de sobrecarga, estando programados para el rearme automático, presentarán un desempeño poco satisfactorio. En estas condiciones, desconectarán el motor cuando el calor acumulado innecesariamente supere o iguale al máximo permitido. Una vez que el motor este frío, el relé térmico de sobrecarga se rearmará automáticamente y energizará al motor.

Al ser la falla de voltaje sostenida en el tiempo, el relé térmico nuevamente se calentará hasta desconectar al motor, para posteriormente enfriarse y volver a energizarlo. Así este dispositivo de protección, entrará en un ciclo indefinido de maniobras de parada y arranque que dañará al motor de manera irreversible.

De igual manera que en el caso anteriormente descrito, de presentarse una sobrecarga mecánica sostenida en el tiempo, los relés térmicos de sobrecarga entrarán en ciclo indefinido de paradas y arranques, dañando el motor supuestamente protegido.

Estando un relé térmico de sobrecarga sometido a un ciclo continuo de calentamiento y enfriamiento, producto de una falla sostenida en el tiempo, en muy poco tiempo estará descalibrado y su capacidad de protección se vera severamente afectada.

### **2.10.2.-PROTECCIONES POR FALLAS DE VOLTAJE:**

Actualmente, la totalidad de la oferta de protecciones de voltaje para motores trifásicos existentes en el mercado operan electrónicamente. Estas, procesan los valores de voltaje de manera analógica o digital, dependiendo de la tecnología con que estén construidas. De presentarse la falla de voltaje, desenergizarán al motor y tan solo lo reconectarán una vez desaparecida la falla.

La oferta de protecciones de voltaje para motores trifásicos es muy amplia.

La diferenciación entre marcas y modelos está comprendida por funciones de protección, temporización, ajustes, modos de rearme, visualización de las fallas, capacidad de comunicación, formato de la carcasa, etc., etc.

El uso de una protección de voltaje para proteger un motor trifásico en ningún momento descarta el uso de un relé térmico de sobrecarga. Ambas protecciones son complementarias aunque no abarquen todos los escenarios en que el motor deba ser protegido.

Lo más importante a la hora de seleccionar una protección por fallas de voltaje es que incluya, inexcusablemente, la protección por desbalance.

Luego, dependiendo de la calidad del suministro eléctrico con que opera el motor, deberá considerarse si la protección debe incluir, adicionalmente, las fallas de bajo voltaje o sobre voltaje. La pérdida de una fase es un desbalance extremo.

Proteger por secuencia invertida o inversión de fases, se requerirá dependiendo del tipo de aplicación que desempeñe el motor.

Es necesario tener en cuenta que para obtener el desbalance de voltaje, la protección debe de supervisar las tres fases y procesar sus valores de voltaje. De allí que la diferencia en costos con una protección que incluya todas las fallas de voltaje no es significativa para la cantidad de funciones que realizará.

Seleccionar y utilizar una protección de voltaje para un motor trifásico, no es algo sencillo. Primero que todo, se deben descartar aquellos modelos que no

incluyan protección por desbalance de voltaje. Luego, se partirá de la premisa que el motor estará sobredimensionado de tal manera, que un desbalance hasta el 8% no lo sobrecalentara a niveles peligrosos, aun en presencia de un sobre esfuerzo mecánico. La mayoría de las protecciones por desbalance poseen un valor fijo del máximo permitido del 8%. Si la premisa anterior es inadmisibles, se deberá utilizar una protección que permita ajustar el valor máximo de desbalance permitido. Es importante recordar que un desbalance de voltaje del 5% provocara un aumento de la temperatura del 50% en los devanados del motor. Las otras funciones de protección como bajo voltaje y sobre voltaje, deberán de tener valores permitidos similares a los que especifica el fabricante del motor. La protección por pérdida de una fase estará implícita en la de desbalance. Los dispositivos digitales reportan por separado las fallas de desbalance de voltaje y pérdida de una fase, al igual que el resto de las fallas.

### **2.10.3.-RELÉS ELECTRÓNICOS DE SOBRECARGA**

Estos dispositivos calculan con tecnología electrónica el calentamiento del motor en función de las corrientes que consume. Cuando el calor llegue al máximo permitido, desenergizarán al motor y lo energizaran nuevamente una vez que se haya enfriado. Algunos están en capacidad de reportar inversión en la secuencia de las fases, pero lo hacen con el motor en marcha lo que es particularmente peligroso, sobre todo en aquellos procesos con personal asociado al desempeño del motor. En ausencia de una fase solo actuarán si el motor está en marcha, al igual que los relés térmicos de sobrecarga, calentándose el motor innecesariamente antes de ser desconectado. Estos dispositivos, son incapaces de actuar inmediatamente ante fallas de voltaje asociadas a la red y mucho menos calcular el calor provocado por el desbalance de voltaje, todo ello debido a que toman solo dos señales de voltaje exclusivamente para energizarse.

También es importante destacar, que la mayoría de estos dispositivos no poseen memoria térmica y de presentarse una falla completa del suministro eléctrico, mientras el relé este enfriando al motor, la información del calor

remanente en el motor se perderá y una vez desaparecida la falla de voltaje el motor arrancara con una temperatura interna elevada.

#### **2.10.4.-RELÉS INTEGRALES DE PROTECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS**

Estos avanzados dispositivos integran la protección contra sobrecarga y fallas de voltaje en un solo elemento. Están contruidos sobre la base de micro controladores y supervisan constantemente los valores de las tres corrientes del motor y de los tres voltajes de red. Al ocurrir una sobrecarga, desenergizarán al motor y la reconectaran una vez se haya enfriado. Para el cálculo real del calentamiento del motor, utilizan los valores de las tres corrientes y del desbalance de voltaje. De esta manera, obtienen el calor en exceso que adiciona la presencia del desbalance de voltaje y protegerán de manera precisa al motor. Su alta capacidad de procesamiento, les permite distinguir si un contacto del contactor o alguna parte del conexionado que energiza al motor, presentan alguna alteración que deje al motor operando con dos fases y de ser así lo desconectaran inmediatamente, evitando el sobrecalentamiento innecesario del mismo.

Ante fallas de voltaje, desconectaran al motor y no permitirán su arranque hasta que las condiciones en la red sean las adecuadas.

Adicionalmente, estos dispositivos ofrecen la función de parada definitiva por fallas sucesivas, prestación que evita que el motor este constantemente arrancando y parándose de manera indefinida ante una sobrecarga sostenida.

A diferencia de los Relés Electrónicos de Sobrecarga, los Relés Integrales de Protección si poseen memoria térmica. Esta característica, les permite mantener la información del calor remanente en el motor de encontrarse la protección bajo una ausencia total de energía. En esta condición, estos avanzados dispositivos descontaran el calor remanente en el motor, de igual manera que ocurra el enfriamiento del motor producto de encontrarse este en reposo.

## **2.10.5.-RELÉS DE PROTECCIÓN TOTAL DE MOTORES ELÉCTRICOS**

Al igual que los Relés Integrales de Protección, están contruidos sobre la base de micro controladores y supervisan constantemente los valores de las tres corrientes del motor y de los tres voltajes de red. Realizan de igual manera las mismas protecciones y otras funciones especiales de protección, tales como detección de sub carga, arranque con alta carga y detección rápida de rotor trancado. Permiten también, a través de una sonda de medición, obtener la lectura de la temperatura real interna del motor, con lo cual corrigen las desviaciones que puedan existir, debido a la temperatura ambiental, en el cálculo del calor en función de las corrientes de trabajo del motor y del desbalance de voltaje. La gran capacidad de procesamiento de estos dispositivos, permite obtener información tal como el consumo de energía (Kw/h), potencia activa (Kw), potencia reactiva (KVA), factor de potencia (FP), horas de operación del motor, etc. La mayoría de los productos de este tipo que se ofrecen en el mercado, permiten el ajuste de todos los parámetros de protección y tiempos de actuación, lo que los hace los dispositivos de protección más completos y confiables que existen en el mercado.

## CAPITULO III

### 3.- MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1.- DESARROLLO DEL TRABAJO

##### 3.1.1.- ESTUDIO DEL ENLACE RADIOELECTRICO CAMPO DE POZOS DIRECCION AEREADORES Y AEREADORES DIRECCION EMAPA-R.

El objetivo principal del presente trabajo de investigación consiste en poder entregar datos obtenidos de manera telemétrica en la estación central de monitoreo tentativamente establecida en las oficinas centrales de la EMAPAR en la ciudad de Riobamba, como principal herramienta de trabajo para dicha tarea se ha optado por la utilización de un potente software de cálculo de sistemas de radio propagación llamado PathLoss® para lograr optimizar el tiempo de cálculo de los distintos parámetros requeridos para poder levantar de manera eficiente y con la elección de los dispositivos de hardware correctos que presenten el mejor beneficio calidad/precio.

Como primer punto a ejecutarse se procede a realizar varios recorridos por los campos de pozos y los ductos de la EMAPAR a fin de verificar las posiciones idóneas para cumplir con la tarea de transmitir los datos mediante enlaces de microonda de la manera más eficiente.

En las visitas realizadas y apoyados por un par de sistemas GPS se realizó la obtención de las coordenadas del campo de pozos así como las coordenadas de ubicación geográfica de la estación Aereadores y las oficinas centrales de EMAPAR, de esta manera los datos obtenidos son los siguientes:

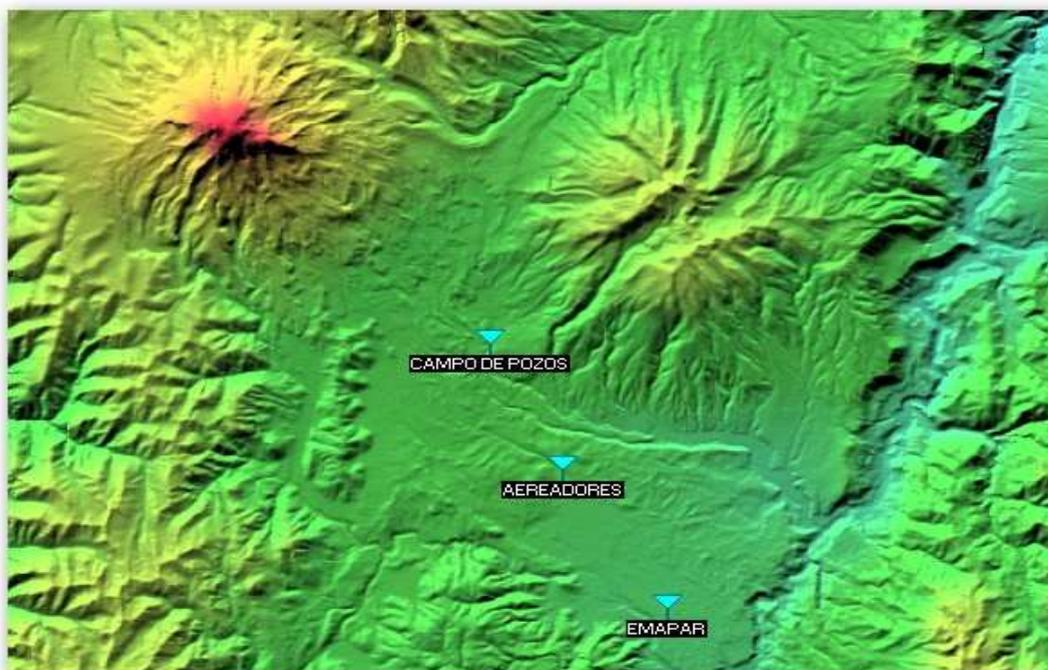
<b>Pozo 1</b>	:1°33'39,1" de Latitud Sur, 78°42'46,4" Longitud O este
<b>Pozo 2</b>	:1°33'43,2" de Latitud Sur, 78°42'49,3" Longitud O este
<b>Pozo 3</b>	:1°33'46,1" de Latitud Sur, 78°42'48,1" Longitud O este
<b>Pozo 4</b>	:1°33'46,1" de Latitud Sur, 78°42'48,1" Longitud O este
<b>Pozo 5</b>	:1°33'43,2" de Latitud Sur, 78°42'49,3" Longitud O este
<b>Pozo 6</b>	:1°33'50,1" de Latitud Sur, 78°42'48,8" Longitud O este
<b>Pozo 7</b>	:1°33'49,5" de Latitud Sur, 78°42'46,0" Longitud O este
<b>Pozo San Pablo</b>	:1°33'49,4" de Latitud Sur, 78°43'02,9" Longitud O este
<b>Aforadores</b>	:1°33'55,2" de Latitud Sur, 78°42'48,7" Longitud O este
<b>Aereadores</b>	:1°37'16,4" de Latitud Sur, 78°41'03,4" Longitud O este
<b>EMAPAR</b>	:1°41'01,0" de Latitud Sur, 78°38'34,8" Longitud O este

De esta lista de pozos cabe recalcar que el pozo # 5 se encuentra actualmente fuera de servicio y se ubica junto al pozo # 2 .

El siguiente paso consiste en definir la posición geográfica adecuada para poder establecer línea de vista entre las estaciones del campo de pozos y la estación de aereadores, para ello se analizo el terreno y se decide que la posición adecuada para el montaje y levantamiento de la estructura metálica que servirá de torre se encuentra ubicado en la mitad del campo de pozos cuyas coordenadas geográficas se presentan a continuación.

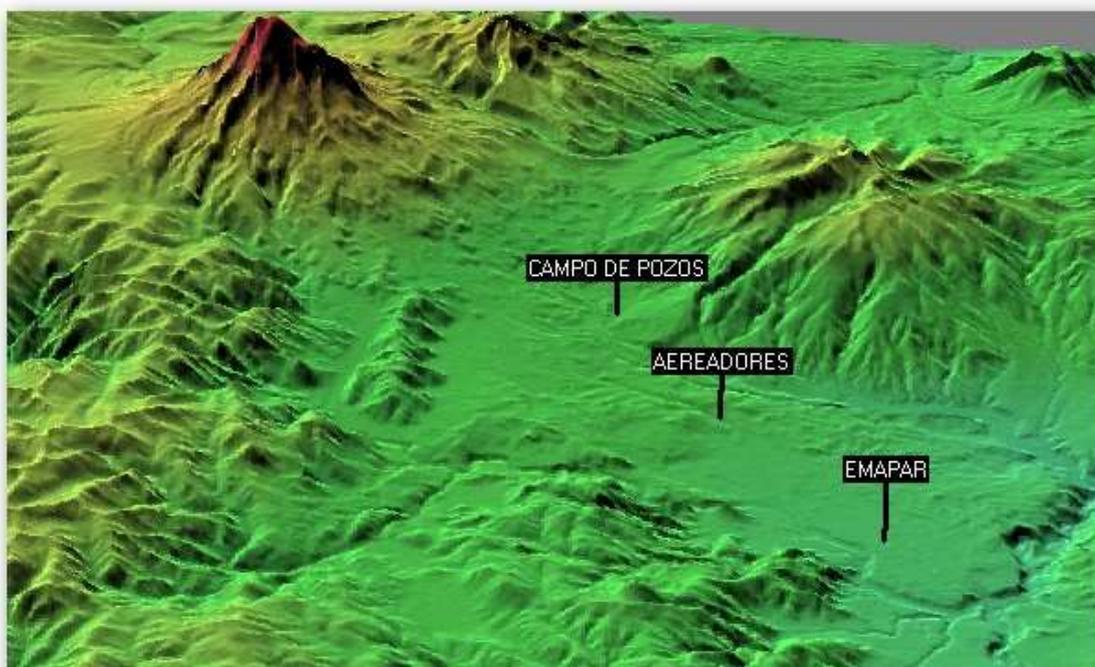
**Punto de colocación de Torre :** 1°33'39,1"de Latitud S, 78°42'46,4"Longitud O

Una vez que los puntos principales para el establecimiento del enlace radioeléctrico se encuentran definidos es posible proceder al cálculo del mismo. Para dicho calculo y visualización del terreno con vistas topográficas y cortes topográficos nos hemos ayudado de dos programas para este fin: PathLoss® y RadioMobile® el primero lo utilizamos para realizar el cálculo del enlace radial, mientras que el segundo nos proporciona las vistas topográficas para poder visualizar de mejor manera las características del relieve del terreno, de esta manera podemos establecer las posiciones reales en las cuales serán ubicados los torres que a su vez soportaran los equipos de radiofrecuencia.



**Figura 40.** Topografía del terreno donde se instalarían los Radioenlaces

Se muestra a continuación la vista del perfil topográfico en relieve donde se puede apreciar el valle donde se encuentran ubicados los puntos a ser unidos mediante el enlace de microondas se aprecia también una pequeña depresión en el sector de aereadores y en el campo de pozos esta falla topográfica deberá ser sorteada mediante colocación de una torre tanto en el campo de pozos como en la estación de aereadores:



**Figura 41.** Vista topográfica en relieve de las ubicaciones de las torres.

Como puede apreciarse en las capturas satelitales, si bien es posible cubrir directamente el trayecto CAMPO DE POZOS dirección EMAPAR con antenas de rango promedio, se hace necesario dividir este enlace en dos tramos denominados como:

**ENLACE 1 :** CAMPO DE POZOS dirección AEREADORES

**ENLACE 2 :** AEREADORES dirección EMAPAR

El motivo de realizar esta división se da debido a que se hace necesario obtener datos a mas de la estación CAMPO DE POZOS desde la estación AEREADORES, debido a este requerimiento se hace necesario la colocación de un segundo juego de radios para retransmitir la información necesaria hacia las instalaciones de EMAPAR ubicados en la ciudad de Riobamba, para el establecimiento de este par de radioenlaces la opción más acertada estaría entonces en establecer el ENLACE 1 mediante la utilización de un par de

juegos de IDU y ODU (Indor Unit & Outdoor Unit) colocada en la estación CAMPO DE POZOS correctamente alineadas con la estación AEREADORES, una vez logrado obtener la señal proveniente de la estación CAMPO DE POZOS en la ESTACION AEREADORES, esta sería retransmitida hacia la estación EMAPAR mediante la utilización de un segundo juego IDU y su respectiva ODU.

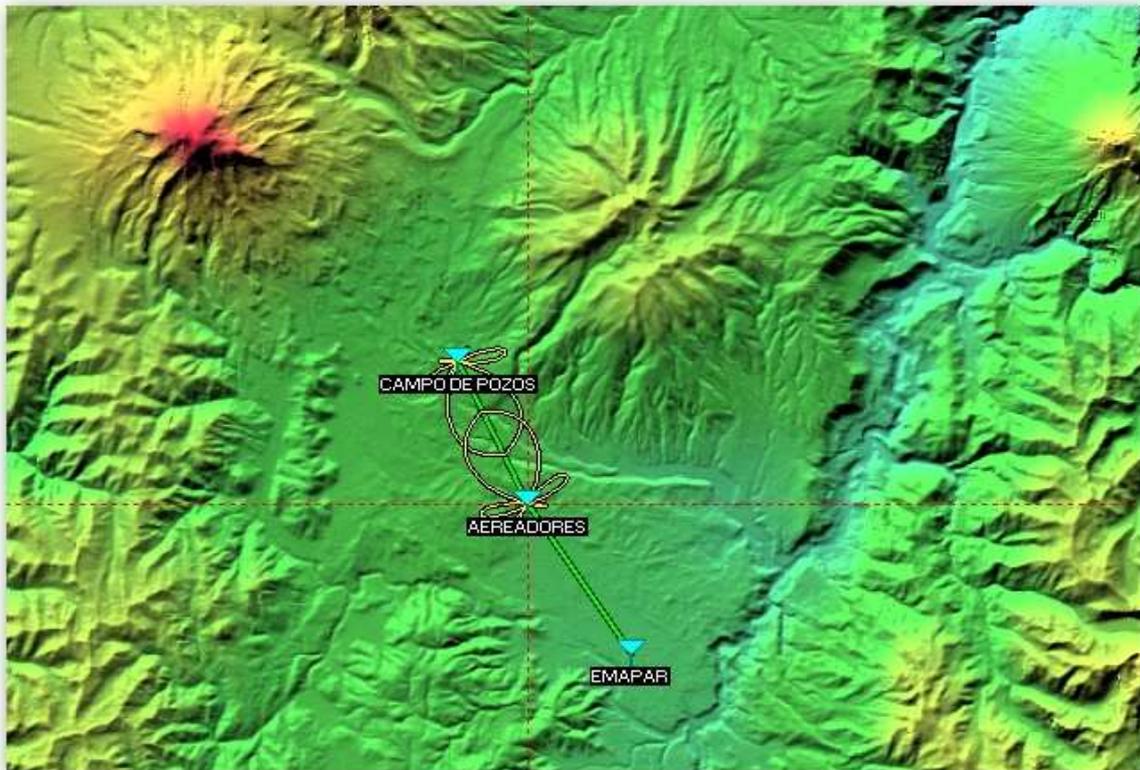
Es necesario poder asegurar a más de la retransmisión de señal proveniente de la estación CAMPO DE POZOS el envío de la información desde la estación AEREADORES sin que esta carga de información afecte a cualquiera de los dos canales de información, para ello se hace imprescindible el poder mantener y manejar dichos canales de información de manera independiente de manera que el sistema de monitoreo pueda contar con datos de los dos puntos o extremos del sistema de ductos de manera transparente.

Para lograr dicho fin la utilización de un sistema radial basado en tecnología PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona) brindaría tales requerimientos de manera óptima y además es posible contar con varios canales adicionales para el establecimiento de nuevas rutas de transmisión de nuevas estaciones que se requirieran monitorear en el futuro, un sistema PDH basado inicialmente en 4 tributarios (E1s) sería una elección acertada para operar un sistema de monitoreo de este tipo debido a la robustez, seguridad flexibilidad de crecimiento que puede brindar este tipo de sistema radial en comparación con otros estándares.

El sistema radial elegido deberá funcionar en configuración 1+1 HOST STAND BY con capacidades de conmutación de BRANCHS transparentes que aseguren que la información que se encuentra siendo transmitida no se pierda en caso de que llegara a existir falencias en los equipos de radiofrecuencia, mediante este sistema se garantiza la disponibilidad del enlace de manera continua, la otra ventaja de operar un enlace en esta configuración es la posibilidad de desmontar una ODU averiada y reponerla debido a que el tráfico automáticamente conmuta a la BRANCH 2 o de respaldo mientras la BRANCH 1 o principal se encuentra fuera de operación, la recomendación comercial para lograr cubrir este objetivo es el utilizar radios PDH SIAE en particular modelos como el ALC PLUS 2, mismos que presentan capacidades de expansión de tributarios (capacidad de E1s), modulación, selección de frecuencia y selección

de potencia basados en gestión WEB lo que los hace ser fácilmente configurables, ahora un punto que se deberá tener en cuenta de manera importante es la posibilidad de gestionar el radioenlace es decir poder verificar los parámetros de transmisión y configuración de manera remota en este caso desde las instalaciones de la EMAPAR características que son cubiertas de manera excepcional en este modelo de IDU.

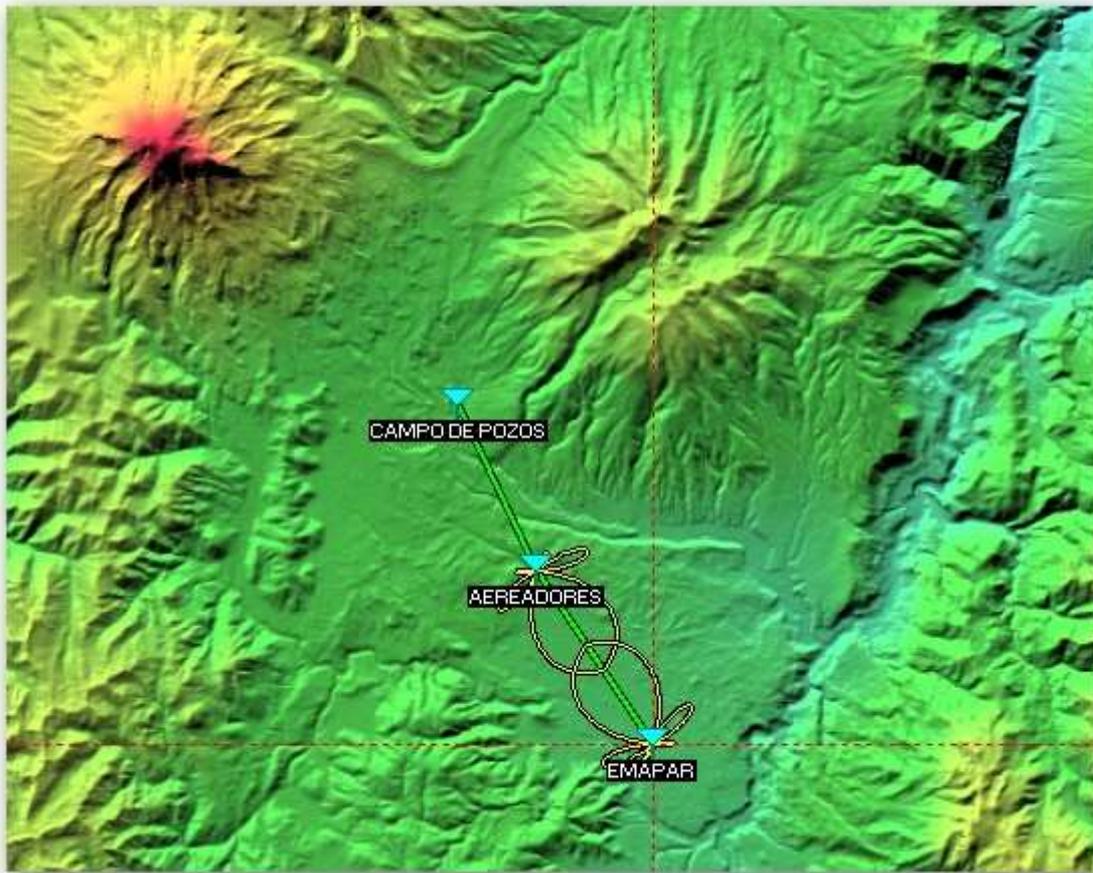
Se muestran a continuación las capturas satelitales de los enlaces radiales planificados para la transmisión de los datos desde las estaciones CAMPO DE POZOS y AEREADORES.



**Figura 42.** Enlace, CAMPO DE POZOS dirección AEREADORES

En la captura satelital se muestran las dos estaciones iniciales involucradas y su correspondiente alineación mediante la utilización de antenas direccionales que permitan obtener la intensidad de campo necesario con el mínimo de potencia, como se puede observar la estación CAMPO DE POZOS se encuentra “viendo” a la estación AEREADORES, como se observara en la siguiente captura satelital la estación aereadores deberá estar “viendo” a la estación EMAPAR que se encuentra en la ciudad de RIOBAMBA, hay que tener en consideración que estos enlaces son bidireccionales lo que permite

tener comunicación tanto desde la estación CAMPO DE POZOS hacia la estación EMAPAR y de manera inversa también.



**Figura 43.** Enlace, AEREADORES dirección EMAPAR.

Una vez que las mejores posiciones geográficas han sido escogidas es el momento propicio para realizar el estudio de propagación radioeléctrico esta tarea esta realizada mediante el software PathLoss®.

Los datos de ubicación geográfica o puntos GPS, son cargados a esta herramienta para lograr obtener los valores necesarios de potencia de transmisión, nivel de campo requerido y valores mínimos de umbral a fin de lograr establecer los enlaces radiales anteriormente mencionados de manera estable y confiable.

A continuación se pueden observar los valores que se necesitarán cubrir para realizar estos enlaces, estas hojas de resumen con los datos mencionados anteriormente son conocidas en el campo de las telecomunicaciones como las ingenierías de levantamiento de enlace de microonda.

### 3.1.2.- INGENIERIAS PARA EL ENLACE MICROONDA CAMPO DE POZOS DIRECCION AEREADORES

### 3.1.3.- ALTURA REQUERIDA PARA COLOCACION DE ANTENAS

Altura de Antenas - AEREADORES - POZOS.pl4

	AEREADORES	POZOS
Latitud	01 37 16.40 S	01 33 50.50 S
Longitud	078 41 03.40 W	078 42 48.40 W
Azimuth Verdadero (°)	332.83	152.83
Elevación (m)	2953.30	3104.73
Altura de Antena (m)	55.00	60.00
Altura de Torre (m)	60.00	72.00
Distancia (km)	7.11	
Frecuencia (MHz)	7500.00	
Orientación K de Antena	1.33	
Ángulo Vertical (°)	1.24	-1.28
Error en K = 2/3 (°)	0.02	0.02
Error en K = 1 (°)	0.01	0.01
Error en K = 100 (°)	-0.02	-0.02

Como podemos observar en esta primera parte de la ingeniería de enlace se puede observar las alturas mínimas requeridas para lograr que las las estaciones puedan establecer comunicación.

A continuación se muestran las ingenierías de nivel de intensidad de campo, así como de umbral mínimo, dicho valor representa el valor mínimo de campo en el cual se garantiza que se podrá establecer enlace radioeléctrico, tomando en cuenta que al realizar el alineamiento del enlace se debe dejar el nivel de señal lo más alejado de dicho valor de umbral, por estándar el valor de campo recibido puede tener una tolerancia se sitúa en  $\pm 3\text{Dbm}$  del valor de señal recibida.

### 3.1.4.- INGENIERIAS DE VALORES DE CAMPO Y UMBRAL

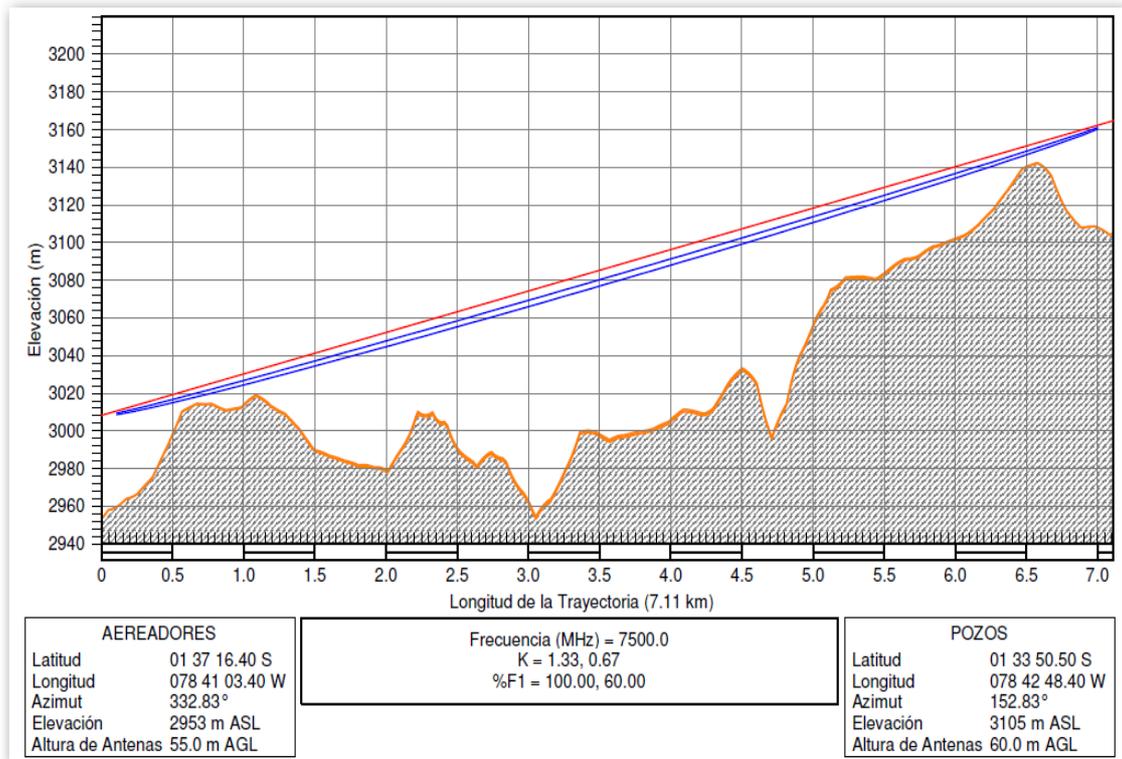
#### AEREAADORES – POZOS

	AEREAADORES	POZOS
Elevación(m)	2953.30	3104.73
Latitud	01 37 16.40 S	01 33 50.50 S
Longitud	078 41 03.40 W	078 42 48.40 W
Azimut Verdadero (°)	332.83	152.83
Angulo Vertical (°)	1.24	-1.28
Modelo de Antena	SLG0678DS6	SLG0678DS6
Altura de Antena (m)	55.00	60.00
Ganancia de Antena (dBi)	31.20	31.20
Pérdidas Misceláneas (dB)	3.60	3.60
Frecuencia (MHz)	7500.00	
Polarización	Horizontal	
Longitud de Trayectoria (km)	7.11	
Pérdidas de Espacio Libre (dB)	127.00	
Pérdidas de Absorción At (dB)	0.07	
Pérdidas Netas del Enlace (dB)	71.87	71.87
Modelo de Radio	ALPlus 16QAM	ALPlus 16QAM
Potencia de Transmisión (w)	0.16	0.16
Potencia de Transmisión (dBm)	22.00	22.00
PIRE (dBm)	49.60	49.60
Designador de Emisor	14M00D7WET	14M00D7WET
TX Channels	7l 7170.0000H	7h 7331.0000H
Criterio de Umbral de RX	BER 10-6	BER 10-6
Nivel de Umbral (dBm)	-58.50	-58.50
Señal Recibida (dBm)	-38.87	-38.87
Margen de Desv. Tér. (dB)	28.63	28.63
Factor Geoclimático	1.01E-04	
Inclinacion del Trayecto (mr)	22.00	
Fade occurrence factor (Po)	8.80E-05	
Temperatura Anual Promedio (°C)	30.00	
Fuera de Serv peor mes Multt	99.99%	99.99%
	0.32 sec	0.32 sec

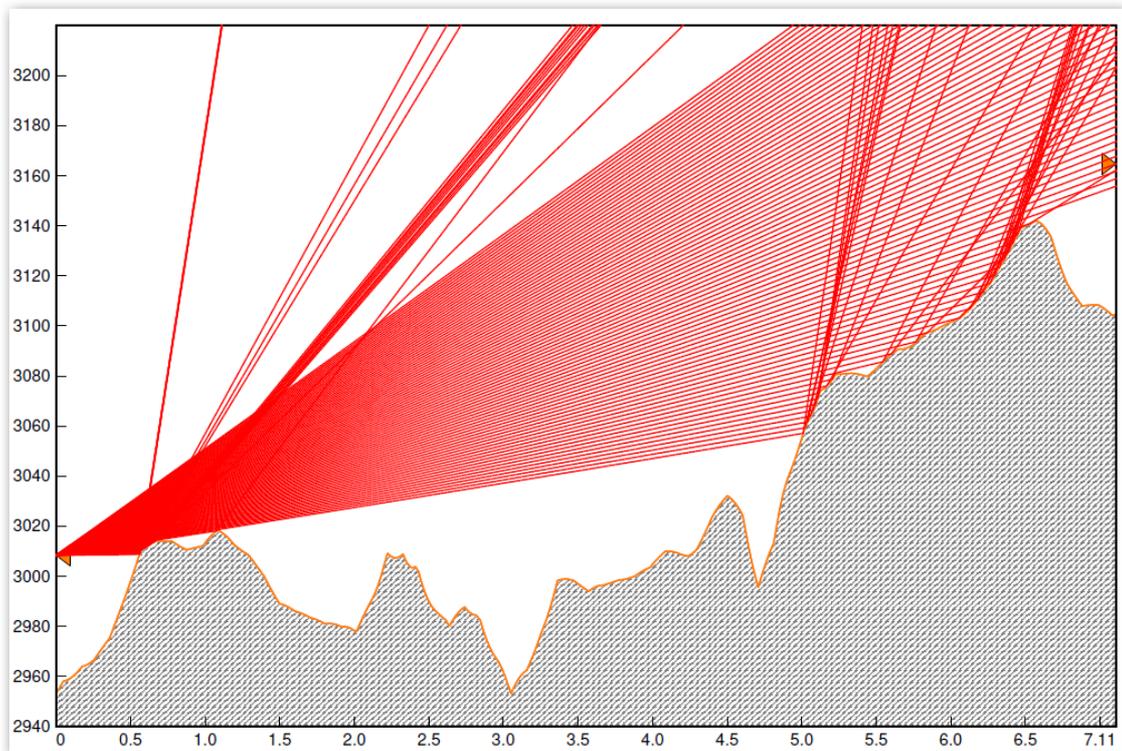
Fuera de Serv Anual por Multt	100.00%	100.00%
	1.43 sec	1.43 sec
(% - sec)	99.99 - 2.86	
Región de Precipitación	ITU Region N	
0.01% Intens de Lluvia (mm/hr)	95.00	
Margen Desv Plano x Lluv (dB)	28.63	
Intensidad de Lluvia (mm/h)	308.62	
Atenuación por Lluvia (dB)	28.63	
Fuera de Servicio Anual Lluvia	99.99 - 9.22 (%-sec)	
Total Anual	99.99 – 12.08 (%-sec)	

PathLoss 4.0 INGEN AEREADORES - POZOS.pl4  
Reliability Method - Rec. ITU-R P.530-7/8  
Precipitación - ITU-R P530-7

### 3.1.5.- PERFIL TOPOGRAFICO Y TRAYECTORIA DE SEÑAL



**Figura 44.** Perfil Topográfico AERADORES-CAMPO POZOS.



**Figura 45.** Multi trayectoria de Señal.

### 3.1.6.- INGENIERIAS PARA EL ENLACE MICROONDA EMAPAR DIRECCION AEREADORES.

### 3.1.7.- ALTURA REQUERIDA PARA COLOCACION DE ANTENAS

Altura de Antenas - EMAPAR\_R - AEREADORES.pl4

#### EMAPAR-R AEREADORES

Latitud	01 41 01.00 S	01 37 16.40 S
Longitud	078 38 34.80 W	078 41 03.40 W
Azimut Verdadero (°)	326.34	146.34
Elevación (m)	2741.40	2953.30
Altura de Antena (m)	32.00	55.00
Altura de Torre (m)	36.00	60.00
Distancia (km)	8.29	
Frecuencia (MHz)	7500.00	
Orientación K de Antena	1.33	
Ángulo Vertical (°)	1.60	-1.65
Error en K = 2/3 (°)	0.03	0.03
Error en K = 1 (°)	0.01	0.01
Error en K = 100 (°)	-0.03	-0.03

### 3.1.8.- INGENIERIAS DE VALORES DE CAMPO Y UMBRAL

#### EMAPAR\_R – AEREADORES

	EMAPAR-R	AEREADORES
Elevación(m)	2741.40	2953.30
Latitud	01 41 01.00 S	01 37 16.40
S		
Longitud	078 38 34.80 W	078 41 03.40
W		
Azimut Verdadero (°)	326.34	146.34
Angulo Vertical (°)	1.60	-1.65
Modelo de Antena	SLG0678DS6	SLG0678DS6
Altura de Antena (m)	32.00	55.00
Ganancia de Antena (dBi)	31.20	31.20
Pérdidas Misceláneas (dB)	3.60	3.60
Frecuencia (MHz)	7500.00	
Polarización	Horizontal	
Longitud de Trayectoria (km)	8.29	
Pérdidas de Espacio Libre (dB)	128.34	
Pérdidas de Absorción At (dB)	0.08	
Pérdidas Netas del Enlace (dB)	73.22	73.22
Modelo de Radio	ALPlus 16QAM	ALPlus 16QAM
Potencia de Transmisión (w)	0.16	0.16
Potencia de Transmisión (dBm)	22.00	22.00
PIRE (dBm)	49.60	49.60
Designador de Emisor	14M00D7WET	14M00D7WET
TX Channels	7I 7170.0000H	7h 7331.0000H
Criterio de Umbral de RX	BER 10-6	BER 10-6
Nivel de Umbral (dBm)	-59.50	-59.50
Señal Recibida (dBm)	-41.22	-41.22
Margen de Desv. Tér. (dB)	27.28	27.28
Factor Geoclimático	1.01E-04	
Inclinacion del Trayecto (mr)	28.34	
Fade occurrence factor (Po)	1.09E-04	
Temperatura Anual Promedio	(°C) 30.00	

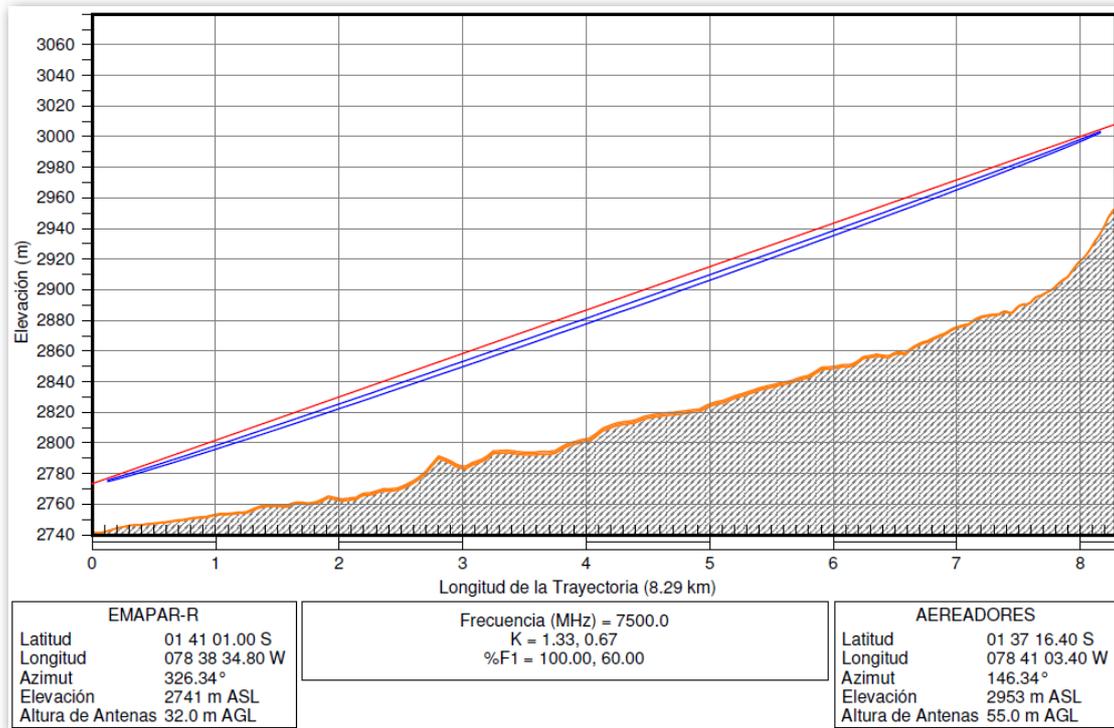
Fuera de Serv peor mes Multt	99.99%	99.99%
	0.54 sec	0.54 sec
Fuera de Serv Anual por Multt	100.00%	100.00%
	2.41 sec	2.41 sec
(% - sec)	99.99 - 4.82	
Región de Precipitación	ITU Region N	
0.01% Intens de Lluvia (mm/hr)	95.00	
Margen Desv Plano x Lluv (dB)	27.28	
Intensidad de Lluvia (mm/h)	281.14	
Atenuación por Lluvia (dB)	27.28	
Fuera de Servicio Anual Lluvia	99.99 - 19.61 (%-sec)	
Total Anual	99.99 - 24.43 (%-sec)	

PathLoss 4.0 INGEN EMAPAR\_R - AEREADORES.pl4

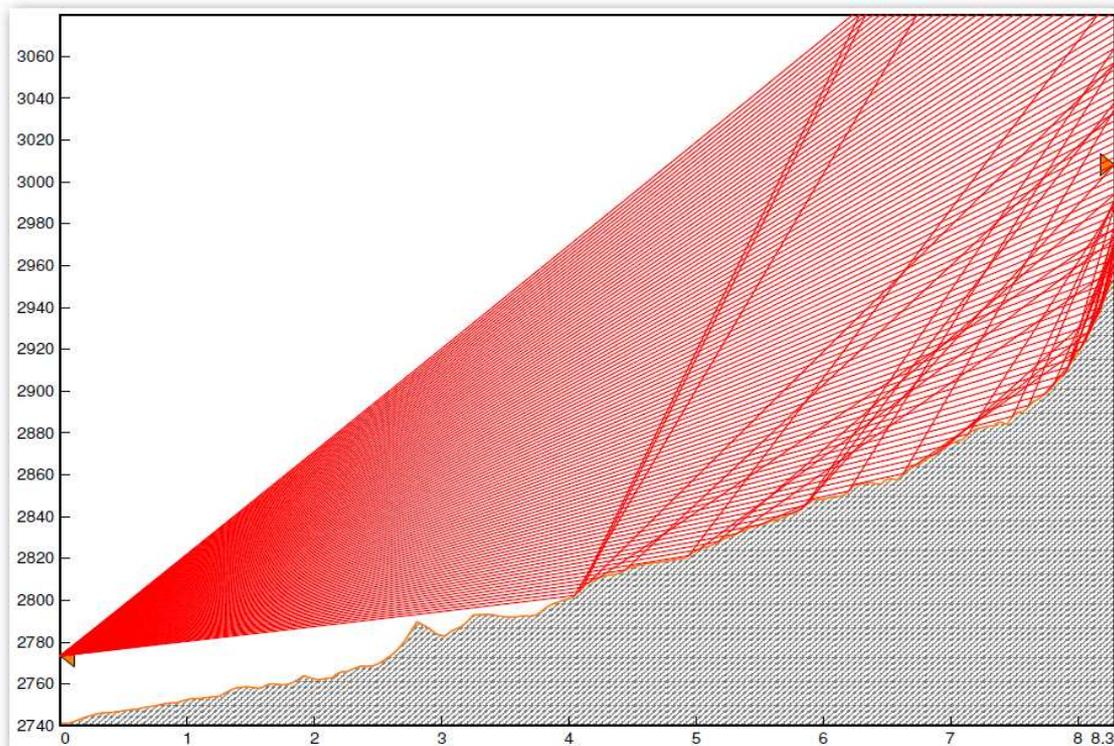
Reliability Method - Rec. ITU-R P.530-7/8

Precipitación - ITU-R P530-7

### 3.1.9.- PERFIL TOPOGRAFICO Y TRAYECTORIA DE SEÑAL



**Figura 46.** Perfil Topográfico AEREADORES EMAPAR



**Figura 47.** Multi trayectoria de Señal.

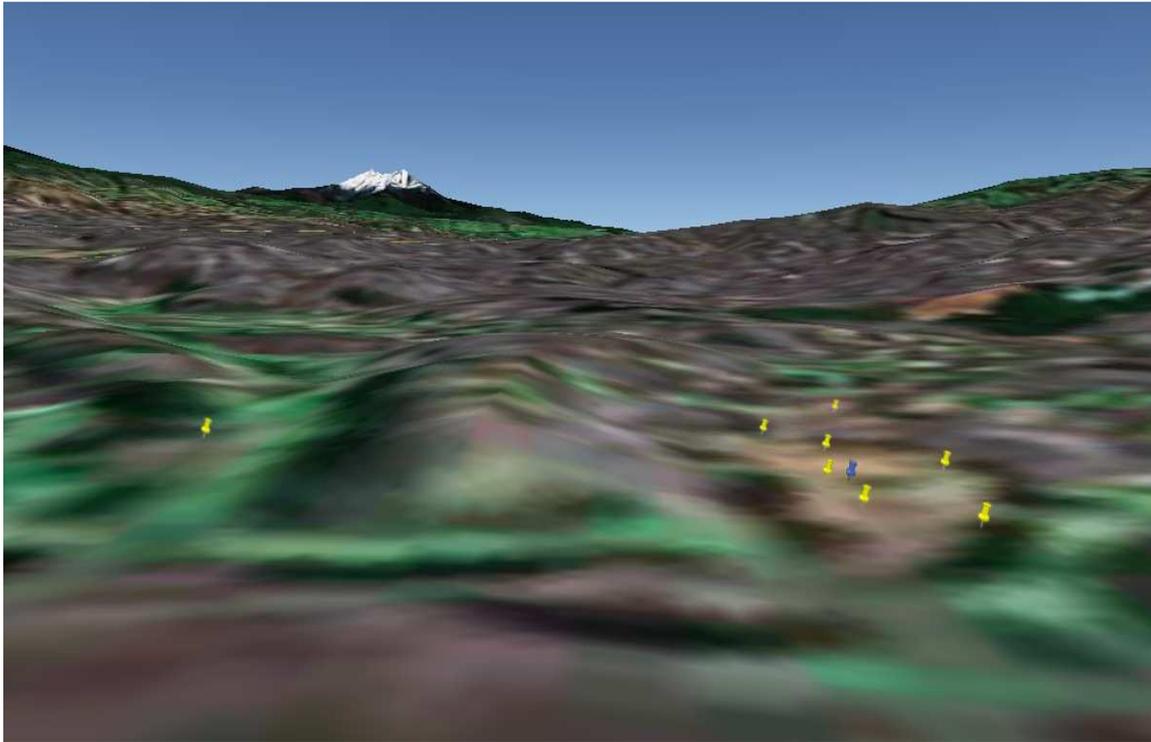
### **3.1.10.- DISTRIBUCION DE LOS SISTEMAS WSN EN EL CAMPO DE POZOS DE LA EMAPAR (LLIO)**

Las posiciones geográficas obtenidas mediante GPS en el campo de pozos demuestran la cercanía de los pozos entre sí con una separación máxima de 500 metros desde el pozo # 1 hacia la estación de de aforado, el pozo ubicado en San Pablo se encuentra a una distancia similar aunque se tiene una pequeña elevación que imposibilita el requerimiento de línea de vista directa con los restantes pozos que conforman el campo de extracción de agua, este inconveniente puede ser solucionado fácilmente al colocar el Gateway Ethernet a la altura necesaria para tal efecto (25 metros) con lo cual se garantiza la transmisión de la información colectada, la ubicación de este Gateway se debe realizar en la propia torre destinada para el montaje del enlace de microonda CAMPO DE POZOS dirección AEREADORES.

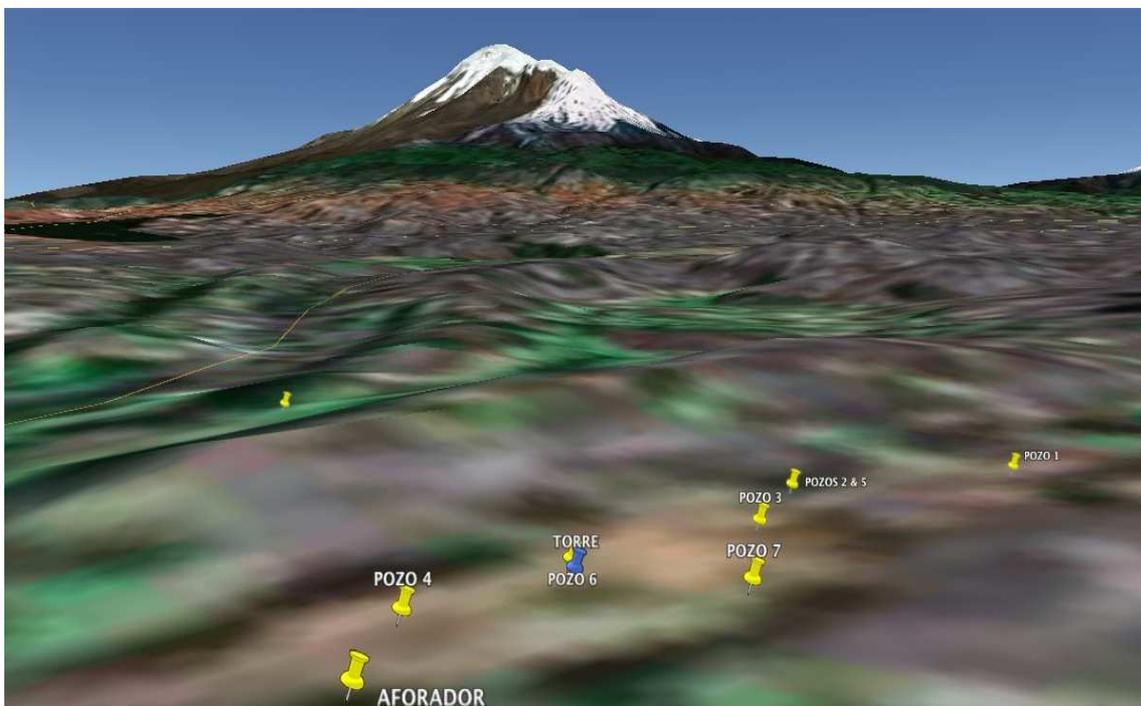
Como se había analizado anteriormente la red de nodos de medición de National Instruments presentan características propias de enrutado lo que les permite conformar una red multi trayectoria a fin de poder enviar los datos de información por diferentes rutas en caso de que no se tenga disponible una ruta de envío de datos principal, pero al analizar la ubicación geográfica de los pozos y la ubicación de la torre establecida para el enlace de microondas, se hace evidente que la mayor distancia de separación a la que se encuentra el pozo más distante es de 250 metros, lo que hace innecesaria la colocación de nodos de retransmisión.

De esta manera la disposición de los nodos de medición con respecto al nodo gateway formarían una red en topología tipo estrella, la ventaja de este tipo de topología se encuentra en que si un nodo de adquisición de datos llegara a fallar quedaría fuera de la red únicamente ese nodo de adquisición de medidas, si a su vez si en un futuro se hace necesario la ubicación de nodos de medición para pozos que se encuentren a mayor distancia donde la señal necesite ser retransmitida para alcanzar el gateway, los nodos de adquisición de medidas planteados originalmente servirán para esta tarea de retransmitir dicha información, ahora que si esta necesidad se llega a dar se debe tener la precaución de colocar otros nodos que harán las veces de backups o respaldos de ruta en el poco probable caso de que los nodos pudieran fallar, de esta

manera veremos en el siguiente diagrama la disposición en la que los nodos de medición estarían colocados en el campo de pozos:

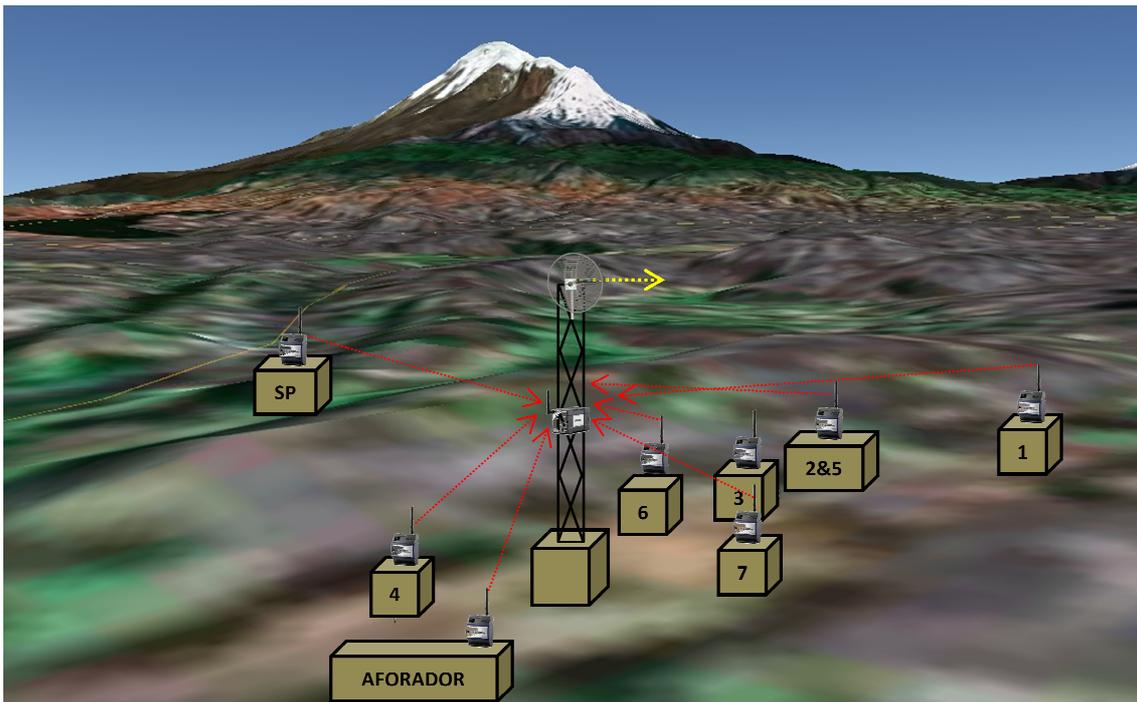


**Figura 48.** Pequeña elevación que separa la vertiente San Pablo del Campo Pozos.



**Figura 49.** Disposición de los pozos en el Campo de Pozos San Pablo tras la elevación.

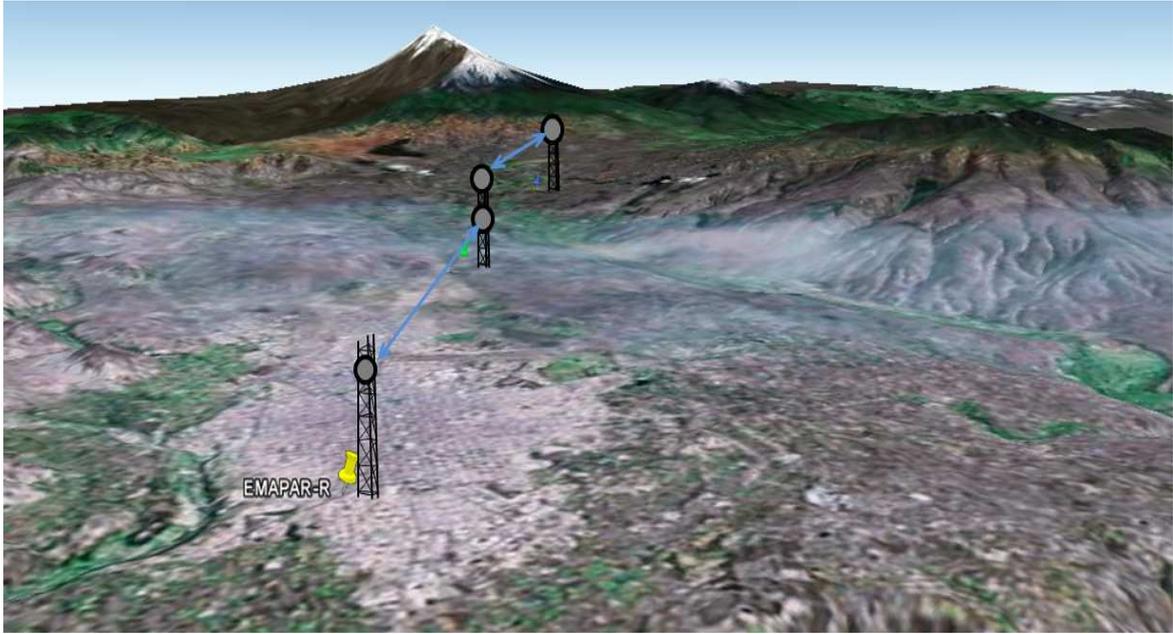
A continuación se muestra la red WSN de toma de mediciones que se desplegaría en el campo de pozos, el Gateway que se encuentra colocado en la estructura de la torre sirve a su vez para establecer la comunicación hacia los sistemas Compac Field Point que serán los encargados de tomar las decisiones necesarias de gobierno de los actuadores que se deseen controlar tales como bombas, válvulas, etc, esta comunicación se garantiza ya que el modulo Gateway trabaja en modo dual ZigBee® como mediante TC/IP, y gracias a que el sistema Compact Field Point



**Figura 50.** Red WSN de adquisición de Datos.

Se muestra también la ubicación que deberían tener las torres para poder establecer el radioenlace propuesto en la siguiente imagen satelital de relieve, como se puede observar el TSS de ubicación de torres, en la torre que se instalaría en la estación AEREADORES se puede observar claramente sus dos antenas con sus dos direcciones: AEREADORES dirección EMAPAR-R y AEREADORES dirección CAMPO DE POZOS, nótese además que el enlace con dirección hacia la estación CAMPO DE POZOS es el que requiere de mayor altitud.

Para la instalación de la torre en la estación EMAPAR-R y ganar altitud, esta instalación puede ser realizada en la parte superior de la misma estructura del edificio con esto es posible ganar alrededor de 10 metros de altura lo que supone también una disminución de la altura de la torre que aquí se ubicaría.



**Figura 51.** Enlaces requerido.

Las figuras mostradas registran las ubicaciones sugeridas para poder establecer la correcta comunicación bidireccional entre las estaciones CAMPO DE POZOS y AEREADORES con la central de monitoreo ubicados en la ciudad de Riobamba.

### **3.1.11.- REQUISITOS DE EQUIPOS PARA IMPLEMENTACION DE LOS ENLACES RADIALES.**

Para la implementación de los radioenlaces necesarios a fin de comunicar las distintas estaciones: CAMPO DE POZOS, AEREADORES Y EMAPAR-R a mas de las ingenierías presentadas en el capitulo **3.1** donde se establecen los parámetros que se deberán cumplir a fin de lograr garantizar la fiabilidad en los enlaces, es necesario escoger el hardware que mejor se ajuste a las necesidades de la EMAPAR-R.

Para cumplir con esta tarea y luego de realizar una exhaustiva investigación de los radios, odus y antenas, asi como de la asistencia en cuanto a repuestos y asistencia (puntos muy importantes a tomarse en cuenta), ha escigido una solución basada en PDH, el hecho de por qué realizar el escogitamiento de una tecnología basado en este estándar, pasa por el análisis real de capacidad de transmisión que requiere esta tarea de monitoreo y un posible desarrollo futuro de un proyecto de control, mediante un canal de comunicación o tributario de dos megas o un E1 la tarea de transmitir las señales de manera bidireccional se encuentran garantizadas, pero siempre es conveniente en este tipo de análisis proyectar futuras rutas de transmisión que podrían llegar hacia la sede de EMAPAR-R, en donde un equipo como el expuesto puede cubrir estos requisitos, uno de las principales desventajas al tratar de trabajar con estos sistemas radiales se encuentra en el hecho que si bien las capacidades de transmisión de estos equipos se encuentran en distintas configuraciones de capacidad, como 4,8,16,32 unidades de E1s (tributarios de 2 Megabytes), el uso de cada uno de estas tributarios está sujeto a pagos adicionales de licencias temporales, es asi que por ejemplo, al comprar equipos de ciertos proveedores a mas de pagar por los equipos físicos es necesario realizar el pago de licencias dependiendo de el numero de tributarios que se piensa utilizar esta licencia además tiene muchas veces un determinado tiempo de vigencia.

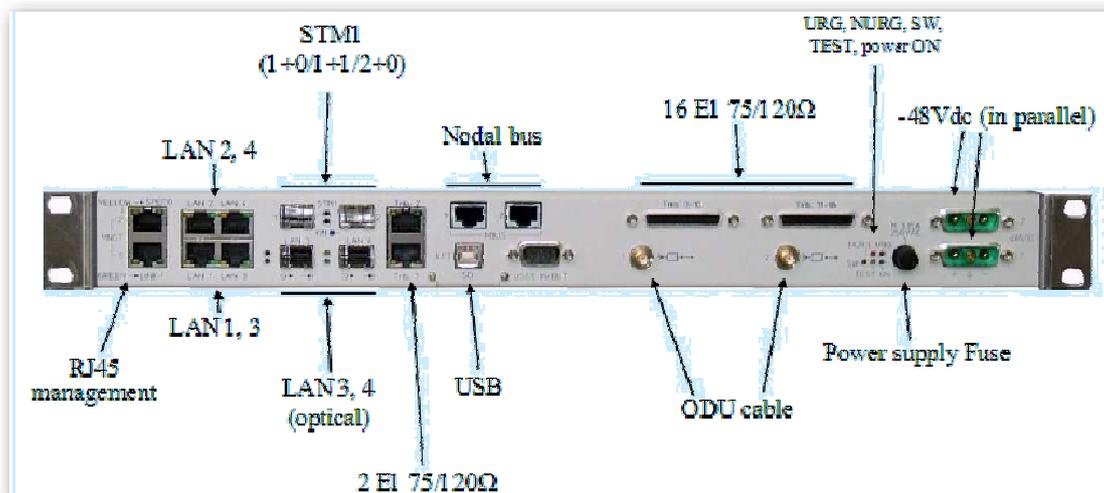
Gracias a la competencia que se tiene en el campo de las comunicaciones, existen nuevas propuestas bastante interesantes en este campo, una de las mejores es la que presenta la empresa Italiana SIAE microelettronica, con uno de sus productos estrella, el radio PDH SIAE ALC PLUS 2, este es un sistema basado en una unidad IDU doble, capaz de poder trabajar con dos unidades

ODUs, que es exactamente lo que se requiere en un enlace que se pretende proteger, es decir tener la capacidad de poder conmutar desde una unidad de RF hacia otra de respaldo en el poco probable caso de que la unidad principal de RF se viera afectada por alguna avería o fallo, la capacidad de reacción de este sistema resulta transparente para el enlace, este tipo de unidades ODU están conectadas simultáneamente en juegos de dos ODU hacia una misma antena mediante un sistema de sujeción llamado unidad TWIST, lo que asegura poder trabajar inmediatamente con la unidad de respaldo en caso de que la unidad principal se encuentra fuera de servicio, hay que tener presente también la posibilidad de realizar recambios o sustitución de este tipo de unidades en “caliente” para poder realizar las operaciones mencionadas anteriormente sin necesidad de apagar el sistema de radioenlace que aunque se encuentre operando por su canal de respaldo es quien en ese momento esta garantizando la operabilidad del sistema, nuevamente la unidad de SIAE microelettronica brinda estas características de trabajos sobre la marcha, los repuestos en caso de ser necesarios se encuentran también garantizados con una filial de la marca citada en la ciudad de Quito.

Uno de los puntos clave en todo sistema de radioenlace que debiera entregar los datos mediante saltos a travez de varios sistemas que retransmitan la esta información es la capacidad de gestión que puedan brindar estos sistemas, básicamente pensados para poder monitorea al enlace en si para poder por ejemplo determinar el estatus de cada uno de los “miembros” de dicho enlace, en el caso particular que nos compete la idea se centraria en poder contar con los datos de cada unos de las unidades IDUs e ODU que están inviniendo en la ruta de transmisión pero desde la sede principal en este caso en EMAPAR-R otra vez los equipos de SIAE microelettronica soportan esta función de esta manera se podría visualizar por ejemplo el estatus del radio ubicado en la estación CAMPO DE POZOS de manera remota gestionándolo desde el centro de gestión en Riobamba, mediante su software de control adquiriendo sus datos a través del radio ubicado en EMAPAR-R y AEREADORES todo esto desde la sede de la institución, este punto es de vital importancia y se debe tener en cuenta a fin de poder evitar molestosas visitas que pueden tomar tiempos de respuesta prolongados.

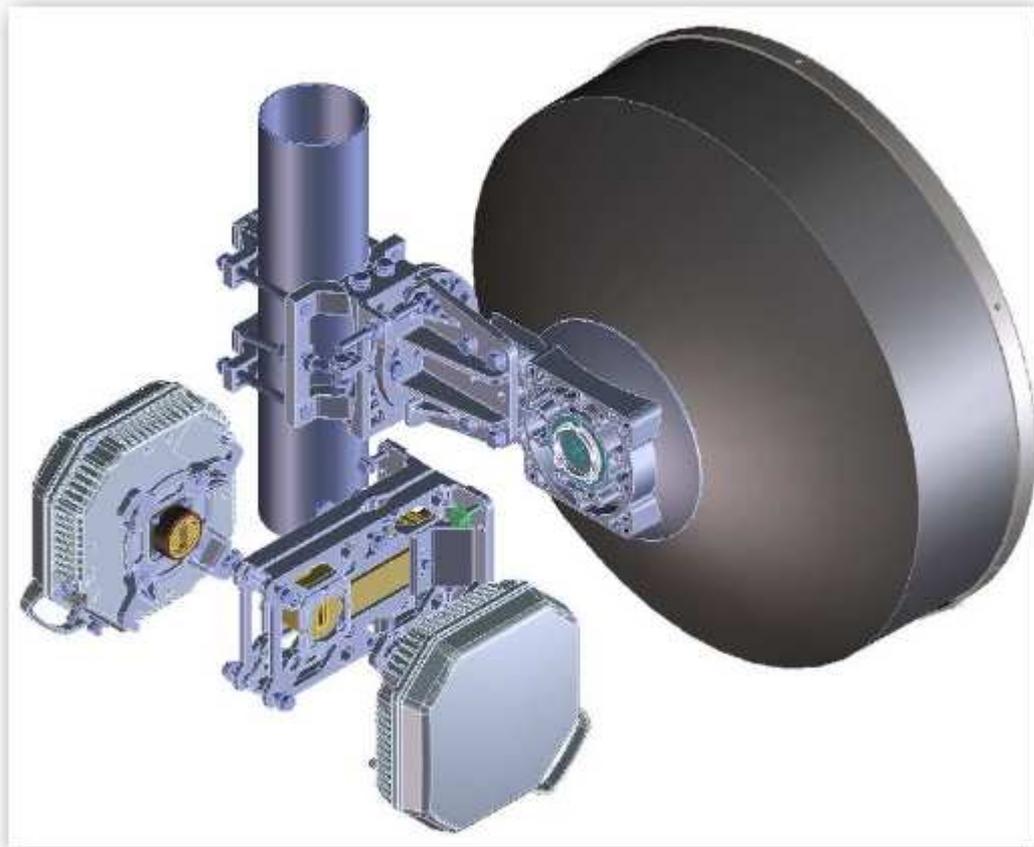
Esta capacidad de interconexión de radios en cascada para tener la gestión de los distintos miembros de la red es también una característica que soporta los radios mencionados.

Como se había mencionado en este capítulo, cuando se adquiría un equipo PDH este debía ser comprado conjuntamente con una licencia de número de tributarios que se estaba pensando hacer uso, este es un punto que el radio SIAE ALC PLUS 2 tiene como una de sus características sobresalientes ya que el radio en sí tiene la capacidad de transportar 53 tributarios E1s o flujos individuales de 2 Mbps, que están disponibles en su totalidad para la parte interesada, lo único que se debe adquirir en este caso es la tarjeta controladora de tributarios que mejor se adapte a las necesidades estas capacidades pueden ser luego ampliadas mediante la colocación de nuevas tarjetas controladas de tributarios en la unidad IDU, para el presente caso contar con una unidad de 4 tributarios de 2 Mbps para iniciar las labores de monitoreo sería una elección muy acertada, con la ventaja de no tener que estar incurriendo en pagos posteriores por derechos de utilización de los canales tributarios.



**Figura 52.** Radio SIAE ALC PLUS.

En la siguiente figura se puede apreciar la el sistema de acoplamiento de las dos unidades externas de RF (ODUs) mediante el dispositivo de acoplamiento TWIST y su conexión hacia la su respectiva antena, notese que todo este arreglo en este caso esta sujeto a su pole (tubo vertical), que es la manera correcta de colocarlo en la estructura metalica de la torre donde vaya a operar el sistema de microonda.



**Figura 53.** ODU Principal y ODU Secundaria acoplada a su antena.

## **3. 2- SISTEMA DE MONITOREO DE CAUDALES Y CONTROL DE VALVULAS**

### **3.3.- SOFTWARE DESARROLLADO**

Las diferentes medidas (caudal, temperatura, voltaje, corriente) pueden ser medidos si los mismos pueden ser expresados en sus equivalentes o proporcionales eléctricos (equivalente en corriente), para lograr este objetivo entra en escena el sistema de National Instruments Compact Field Point, con el que estas señales eléctricas serán censadas y luego procesadas a fin de lograr ser utilizadas en procesos posteriores que podrían ser tan variados como abrir o cerrar válvulas de paso o la desconexión de bombas por ejemplo, para el desarrollo de este trabajo se ha escogido la versión de LabView 9, gracias a sus prestaciones, flexibilidad y capacidad de adaptabilidad, el escojitamiento de este sistema en particular se basa en la posibilidad de expansión de módulos de adquisición de datos ya que el sistema está pensado en su expansión que muy probablemente se podrá presentar en un futuro en el campo de extracción de agua y que además presente una fácil comprensión de sus distintas funciones (intuitivo) y que presente además un alto grado de modificabilidad en caso de presentarse necesidades nuevas por parte de la Empresa Municipal de Agua Potable, traduciéndose esto en menores tiempos de modificación del software y puesta en marcha del mismo si esto es necesario.

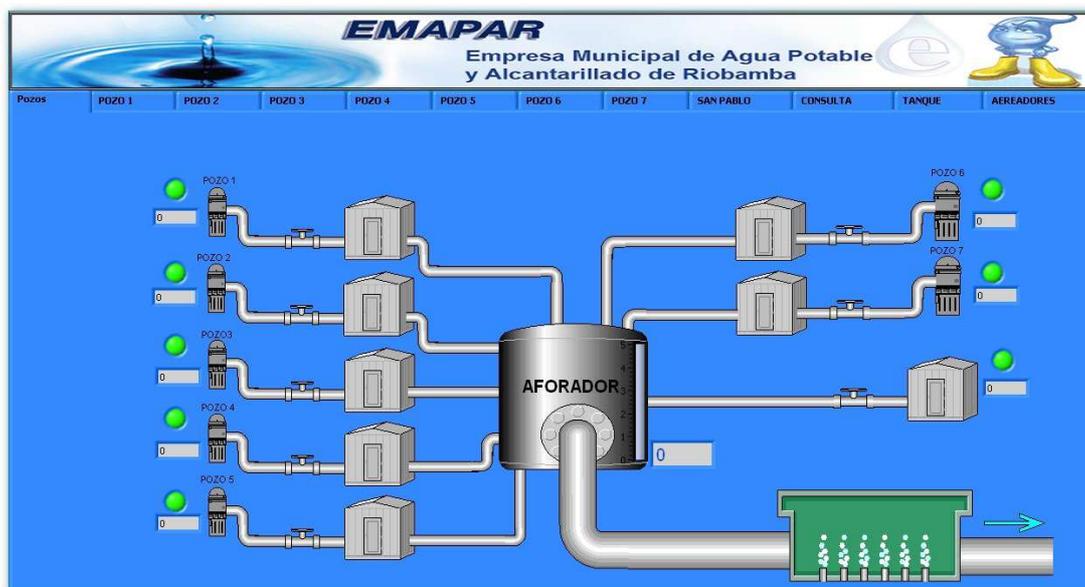
El desarrollo del presente software está dividido en dos partes que interactúan entre sí para poder presentar la información de niveles (caudales, voltajes, temperaturas) presentes en las instalaciones de captación de agua (pozos) y el control de las bomba de extracción que se encuentran instaladas en las instalaciones de pozos.

La primera parte de este software esta desarrollado para mostrar la información adquirida remotamente (datos telemétricos) y una segunda parte dedicada al control automatizado de las bombas extractoras de agua de los pozos basados en lógica difusa.

Son estos puntos los pilares fundamentales sobre los que el presente trabajo aborda los puntos necesarios de solución a fin de lograr obtener un sistema de monitoreo y gestión de bombas robusto, seguro y con capacidades de expansión que puede ser implementado en nuestra realidad local.

### 3.3.1.-MONITOREO DE CAUDALES

La necesidad de conocer la cantidad de agua que un determinado pozo del conjunto de pozos que la Empresa Municipal de Agua Potable de Riobamba gestiona puede ser desplegada gracias al software RIOMONITOR que es el encargado de presentar dicha información en tiempo real a su operador quien desde la sede de EMAPAR puede conocer de primera mano sobre las condiciones en las que se encuentran los niveles de captación del líquido vital. Gracias a NI Compact Field Point esta información es adquirida y enviada luego RIOMONITOR la recibe y la visualiza de manera ágil y precisa, veamos a continuación la pantalla principal de RIOMONITOR y sus distintas pestañas de visualización.



**Figura 54.** Pantalla principal de RIOMONITOR.

Podemos apreciar, un sistema organizado por pestañas donde la información de cada uno de los pozos que conforman el campo de pozos se encuentra disponible a un click de distancia, el ser claro y conciso es un punto a tener en muy presente en cualquier software de gestión de información razón por la cual el uso de los denominados Tab Controls es una decisión acertada a fin de poder “empaquetar” todas las distintas mediciones que se irán adquiriendo de cada uno de los pozos que se encuentren bajo monitoreo.

La utilización de gráficos para representar a los equipos que se encuentran presentes en el campo de pozos es muy útil ya que pueden ser asociados

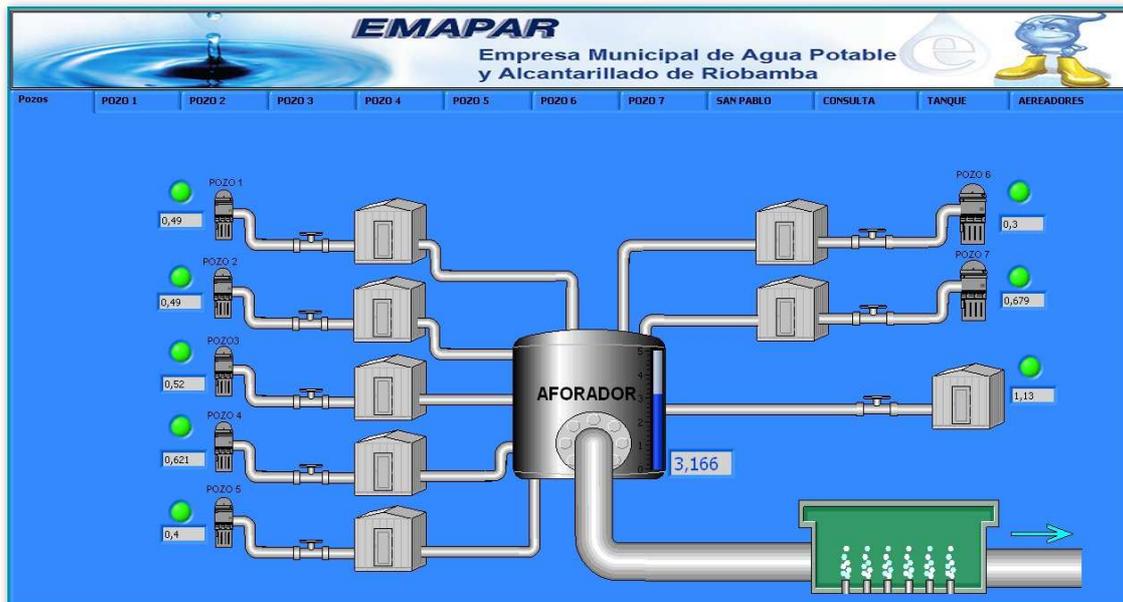
fácilmente por el operador del software desde la primera ocasión en que este lo utilice.

A través de la primera pestaña se tiene un resumen completo del estatus precisamente de los caudales que los distintos pozos están entregando aforador o tanque de captación principal, de esta manera es posible cuantificar la cantidad de líquido que se encuentra ingresando al tanque de aforado mediante la sumatoria de caudales individuales.

Cuando un pozo es taladrado, se espera poder contar con un caudal mínimo que este podrá entregar al sistema de recolección de líquido, es por ello que una vez realizado el proceso de taladrado, se realiza una estimación de la cantidad de líquido que dicho pozo puede surtir en un determinado periodo de tiempo de este modo y conociendo las características de las bombas utilizadas es posible conocer el caudal que este pozo deberá entregar al sistema, este aspecto ha sido también abordado por RIOMONITOR con la introducción de la variable NORMALIDAD, que efectivamente es el parámetro de valor normal de caudal que un pozo debe entregar y es seteable de manera individual para cada pozo a fin de tener un parámetro operación óptima, de este modo si el caudal entregado por la bomba se encuentran bajo los criterios establecidos para dicho pozo es estatus del indicador de estado permanecerá en color verde de lo contrario si existiera alguna afectación en el suministro del caudal sugerido que dicho pozo debiera entregar una alarma con su característico distintivo color rojo es representado directamente sobre cada pozo que se encuentre bajo aquella condición de trabajo.

Para facilitar esta tarea, la pantalla principal muestra el resumen de actividad de todos los pozos y sus correspondientes estatus de operación, además de aquello puede observarse también el nivel de caudal que dicho pozo se encuentra entregando al sistema de aforado.

La pantalla siguiente muestra a RIOMONITOR, trabajando con todos los pozos, entregando los caudales de cada uno y su correspondiente estatus de operación.



**Figura 55.** Pantalla principal de RIOMONITOR en funcionamiento.

Como puede apreciarse en la simulación mostrada los valores de operación de cada uno de los pozos se encuentra bajo los rangos de la variable de NORMALIDAD, razón por la cual el estatus de operación de cada uno de ellos no presenta novedad, para mostrar la manera en la cual esta variable es utilizada para realizar sus funciones, nos permitiremos a modo de ejemplo setear esta variable para el pozo número 1 y el pozo San Pablo de la siguiente manera:

Pozo	Variable NORMALIDAD
Pozo 1	0,5
San Pablo	1

**Tabla.** Función de la variable Normalidad

De esta manera es posible conocer de manera oportuna que efectivamente un pozo se encuentre operativo (mediante la lectura de su caudal) y que además de aquello su caudal entregado se encuentre bajo los rangos de caudal que aquel pozo deberá estar proporcionando al sistema recolección principal.

Veamos a continuación los efectos y reflejados por RIOMONITOR producidos por dicha variable sobre los caudales que se encuentran siendo monitoreados.

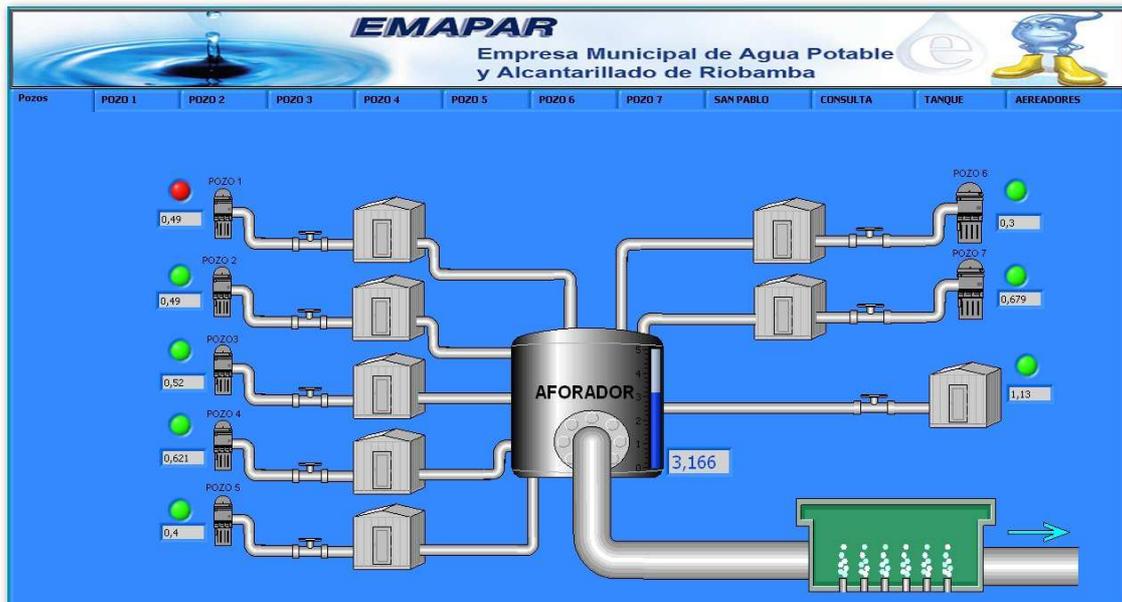


Figura 56. Pozo 1 alarmado.

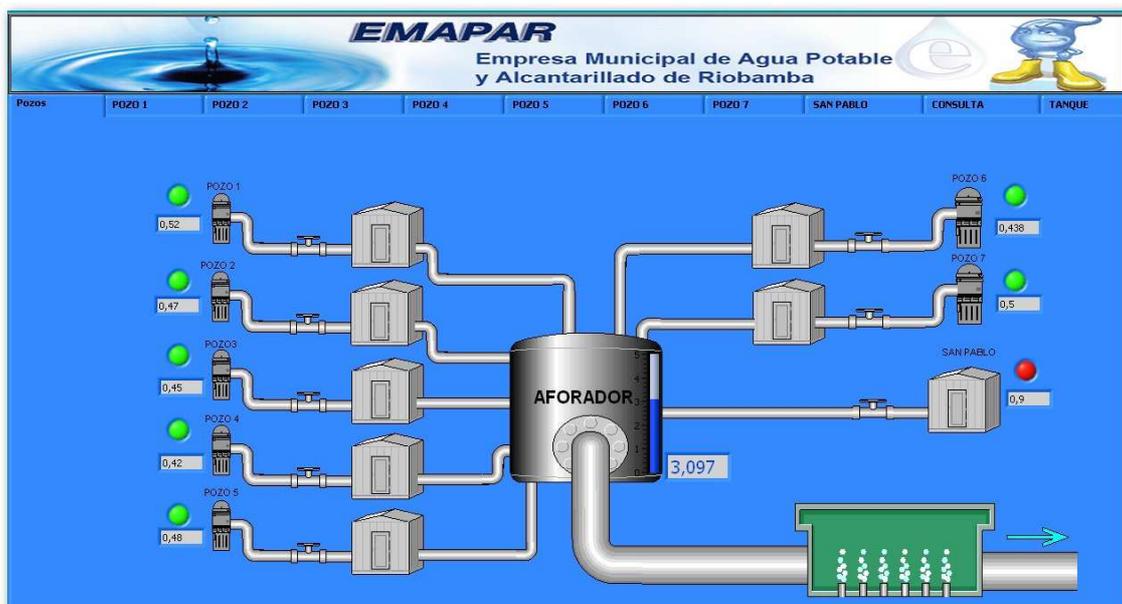
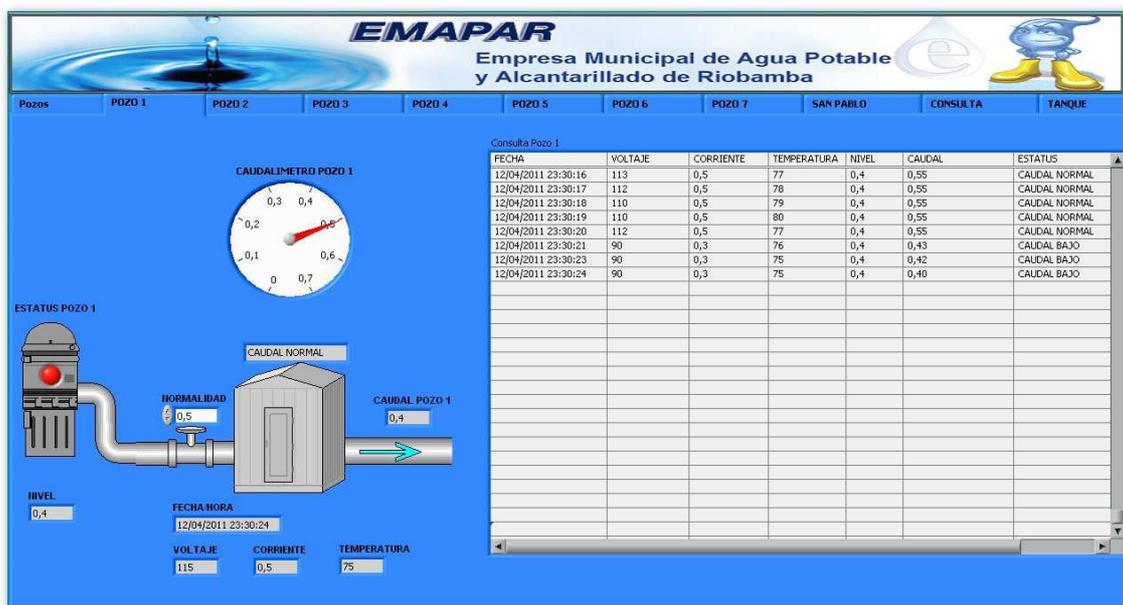


Figura 57. Vertiente San Pablo alarmada.

De este modo, al mostrarse de manera gráfica y sucinta lo que sucede en el campo mediante el cambio en el color de los leds de estatus de cada uno de los pozos es para un operador novato fácil de distinguir entre cual de los pozos se encuentra entregando su caudal normal o existe alguna incoherencia entre el caudal suministrado y los valores de la variable NORMALIDAD, caso en el cual podrían estar interviniendo otros causales por los que RIOMONITOR decide dar por alarmado dicho pozo.

De esta manera si llegara a existir un desnivel del nivel de caudal que un pozo debería estar proporcionando al sistema dicho pozo presentara un indicativo visual de tal estatus, facilitando poder encontrar un pozo que efectivamente no se encuentre bajo los parámetros establecidos.

Una vez el operador puede discriminar entre los distintos posos y sus estatus poder contar con información más detallada de cada uno de ellos, el operador tiene simplemente que dar un click sobre la pestaña del pozo que desee verificar, la captura de pantalla siguiente muestra precisamente el monitoreo del pozo número 1 y los parámetros bajo monitoreo.



**Figura 58.** Monitoreo de Pozo 1.

En las pestañas de monitoreo de pozos podemos distinguir los valores de monitoreo que se encuentran siendo vigilados por RIOMONITOR pueden verse también los valores de caudal, los valores de voltaje, corriente y temperatura que están interviniendo en la bomba de extracción destinada a dicho pozo así como el valor de nivel de cantidad de agua del que dispone ese pozo en particular, valor que servirá para labores de control de bombas, tema que se aborda más adelante en este trabajo.

RIOMONITOR se complementa a su vez, añadiendo la posibilidad de utilizar enlaces hacia bases de datos para lograr almacenar los distintos valores que se presentan en cada uno de los pozos.

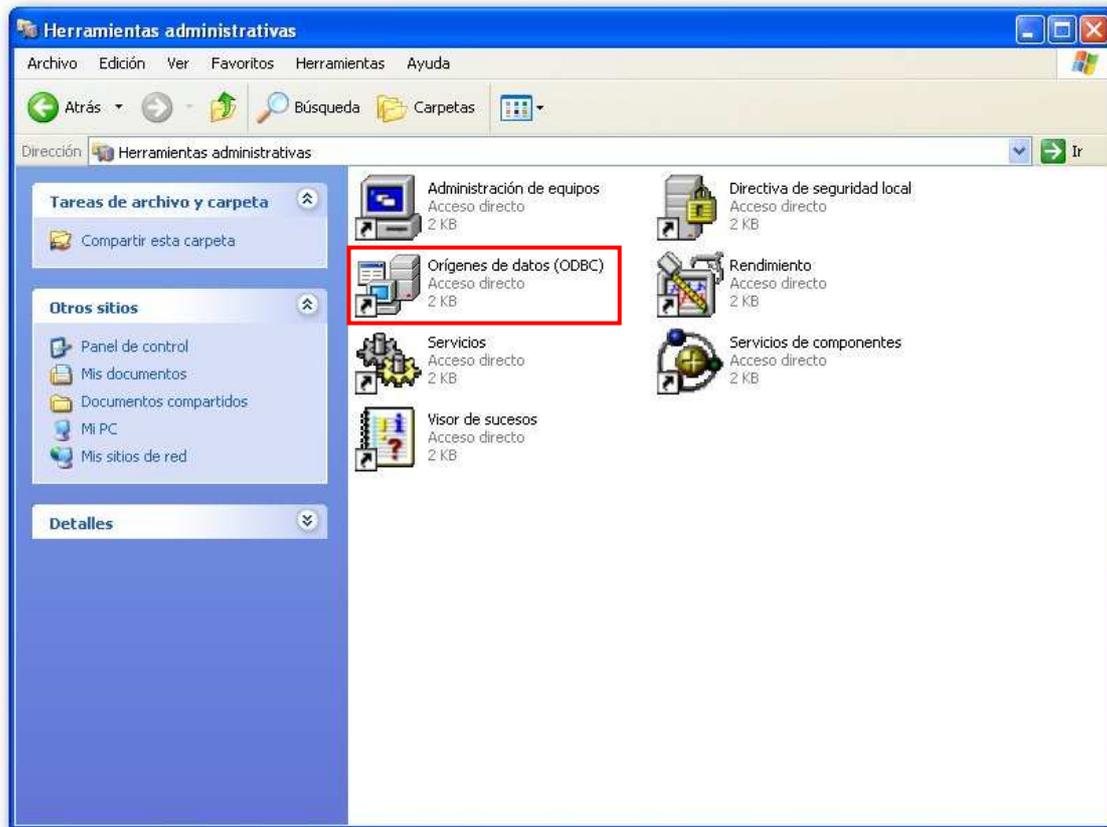
Para ello se utiliza el modulo de NI especializado NI LabVIEW® Database Connectivity ToolKit, que es un conjunto de de herramientas que se presenta como un complemento adicional a NI LabView mismo que una vez instalado se comporta de manera completamente transparente y totalmente integrado, este complemento brinda acceso a bases de datos asi como su gestión y manipulación desde el entorno de LabView®, en el caso de RIOMONITOR el complemento brinda acceso a bases de datos de Microsfot Acces ®, y contiene un conjunto de herramientas de funciones de alto nivel que permiten realizar las tareas cotidianas y personalizadas sobre una base de datos, todo esto desde el entorno grafico de LabView.

Al trabajar con bases de datos desde un software cliente, se debe tener en consideración que el software mencionado pueda gestionar esta base de datos, con esto en mente se hace claramente evidente que el software deberá poder soportar controladores de base de datos que cumpla con el estándar ODBC (Open DataBase Connectivity), que es un estándar de acceso a bases de datos.

Bajo un ambiente Windows gracias a ODBC es posible conectarse con cualquier base de datos de la que se disponga de un controlador ODBC, dicho driver deberá ser proporcionado por el creador de la base de datos que se decida utilizar, en el caso de RIOMONITOR este driver viene incluido dentro del mismo sistema operativo de forma nativa.

Se debe mantener un alto nivel de portabilidad, pensando precisamente en la posibilidad de transferir la información almacenada hacia otra aplicación por ejemplo de análisis estadístico, o la posibilidad de conectar la aplicación con otras bases de datos en este caso la simple edición de la cadena de conexión de RIOMONITOR con su base de datos posibilita esta tarea.

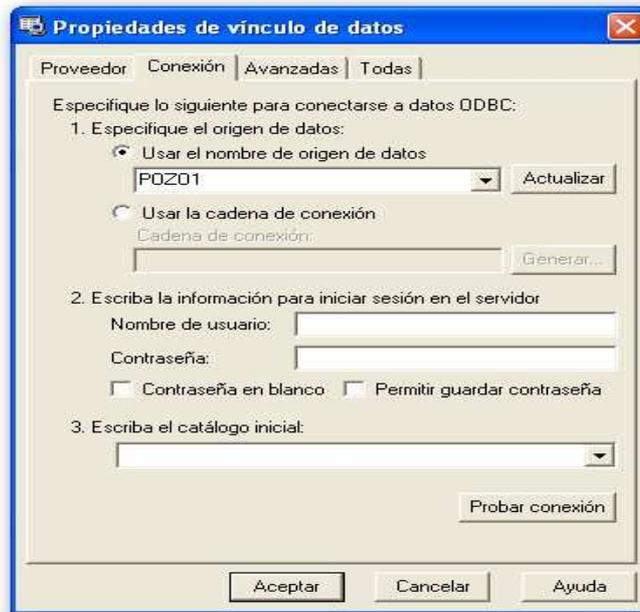
Para conectar mediante ODBC una base de datos se requiere utilizar un fichero DSN, que básicamente es nombre en el cual es asociado una conexión para referenciarla desde aplicaciones que harán uso de determinada base de datos. NI LabVIEW Database Connectivity ToolKit, incluye VIs para recuperar el nombre y el tipo de datos de una columna devuelta por una instrucción SELECT, punto que es muy importante ya que brinda la posibilidad de realizar consultas directas sobre una base de datos en particular, leer tablas y seleccionarlas, realizar inserciones, actualizaciones y eliminaciones.



**Figura 59.** Orígenes de Datos ODBC desde entorno Windows.

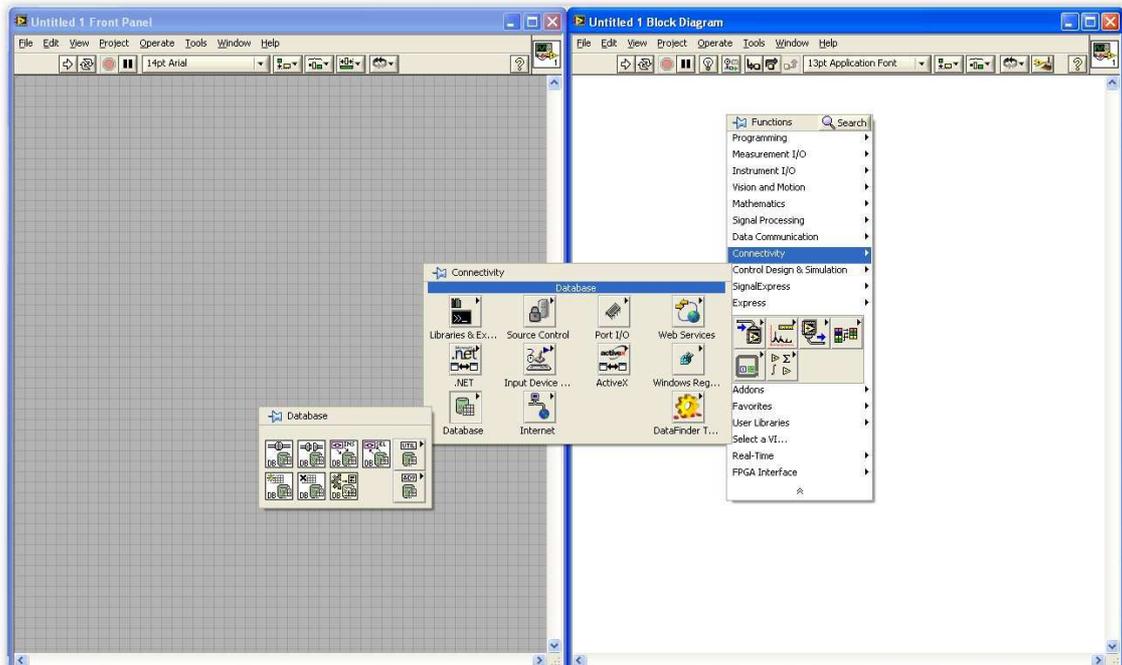


**Figura 60.** Enlace de DB con driver propietario mdb en entorno Windows.

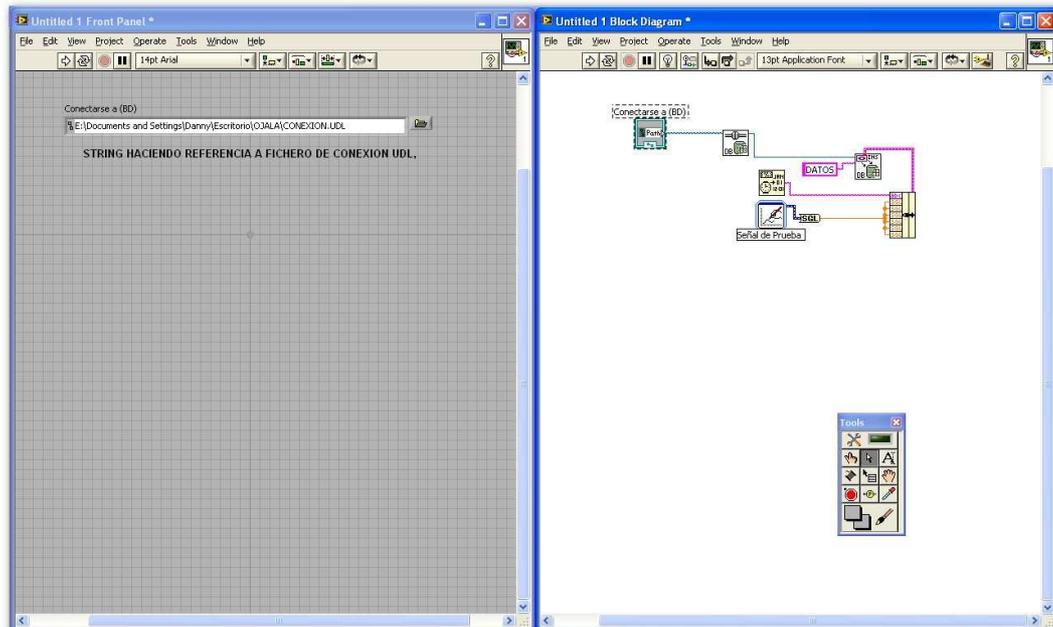


**Figura 61.** Fichero UDL de enlace entre DB y Labview®.

Una vez que se dispone de estos parámetros de configuración en nuestro sistema operativo, RIOMONITOR puede comunicarse con la base de datos que sea necesaria, a continuación se muestra la manera en que RIOMONITOR se comunica con una de sus bases de datos.



**Figura 62.** NI LabVIEW Database Connectivity ToolKit, integrado a LabVIEW®.



**Figura 63.** Conexión de RIOMONITOR con DB.

La conexión realizada muestra el fichero UDL de asociación de la base de datos con la cual se va a trabajar, ahora una vez RIOMONITOR arranca, inicia cargando a la base de datos la información que el sistema Compact Fiel Point le vaya suministrando, pero la posibilidad de consultar esta información es un punto a favor de la aplicación, puesto que RIOMONITOR incluye una pestaña donde se puede acceder a consultas de los datos almacenados en las bases de datos que este esta gestionando todo desde el mismo software, estas tareas son realizadas gracias a la posibilidad que el mismo complemento NI LabVIEW Database Connectivity Toolkit® permite la creación de sentencias SQL (Structured Query Language), mismo que puede ser definido como un lenguaje declarativo de acceso a bases de datos que brinda la posibilidad de operar sobre estas. Entre sus particularidades se presentan el manejo del álgebra y el cálculo relacional, puntos que permiten la realización de consultas para recuperar de una forma sencilla información de interés de una base de datos y de a su vez permitir realizar cambios sobre esta.

Gracias a estas características “heredadas” por el complemento de NI para la gestión de NI LabVIEW Database Connectivity Toolkit® es posible entonces realizar consultas a las bases de datos que contienen la información recopilada y desplegarlas permitiéndonos saber qué y cuando sucedió un determinado evento.

A continuación se muestra una captura de pantalla del sistema de visualización de información a partir de las bases de datos previamente cargadas con la información recolectada.



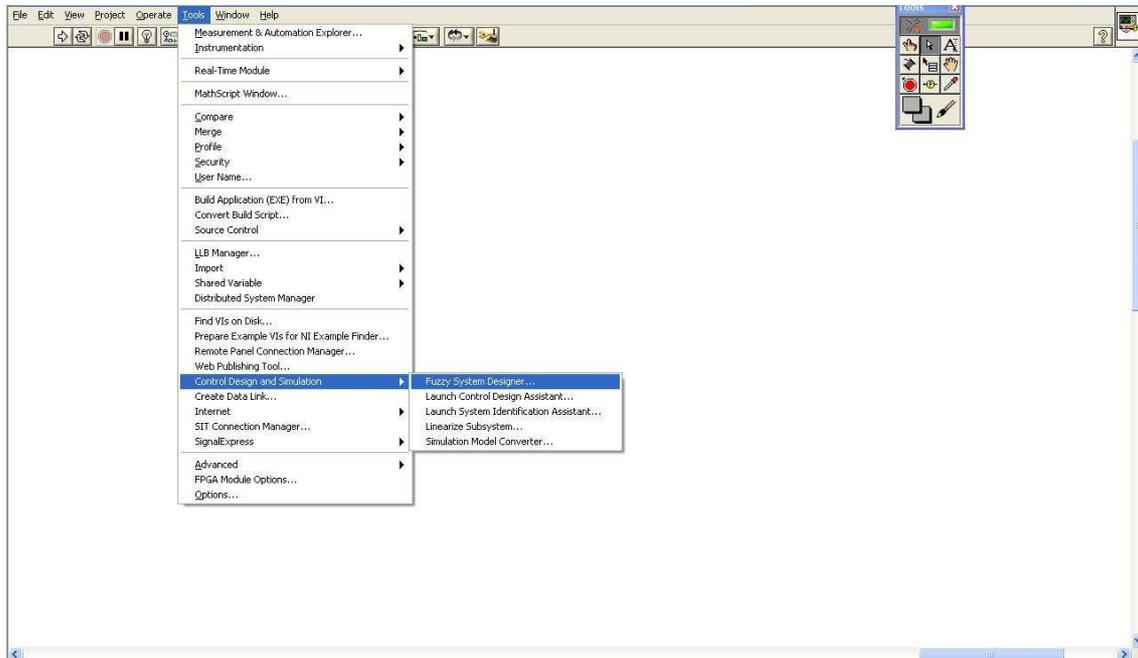
**Figura 64.** Consulta realizada a la Base de Datos de Pozo 1.

Una vez conocida la forma en la que RIOMONITOR realiza la adquisición de la información, su almacenamiento nos permitiremos mostrar en el siguiente capítulo la manera en la que RIOMONITOR interactúa con dicha información para de toma de decisiones.

### 3.3.2- CONTROL AUTOMATICO DE VALVULAS BASADO EN TECNOLOGIA FUZZY LOGIC

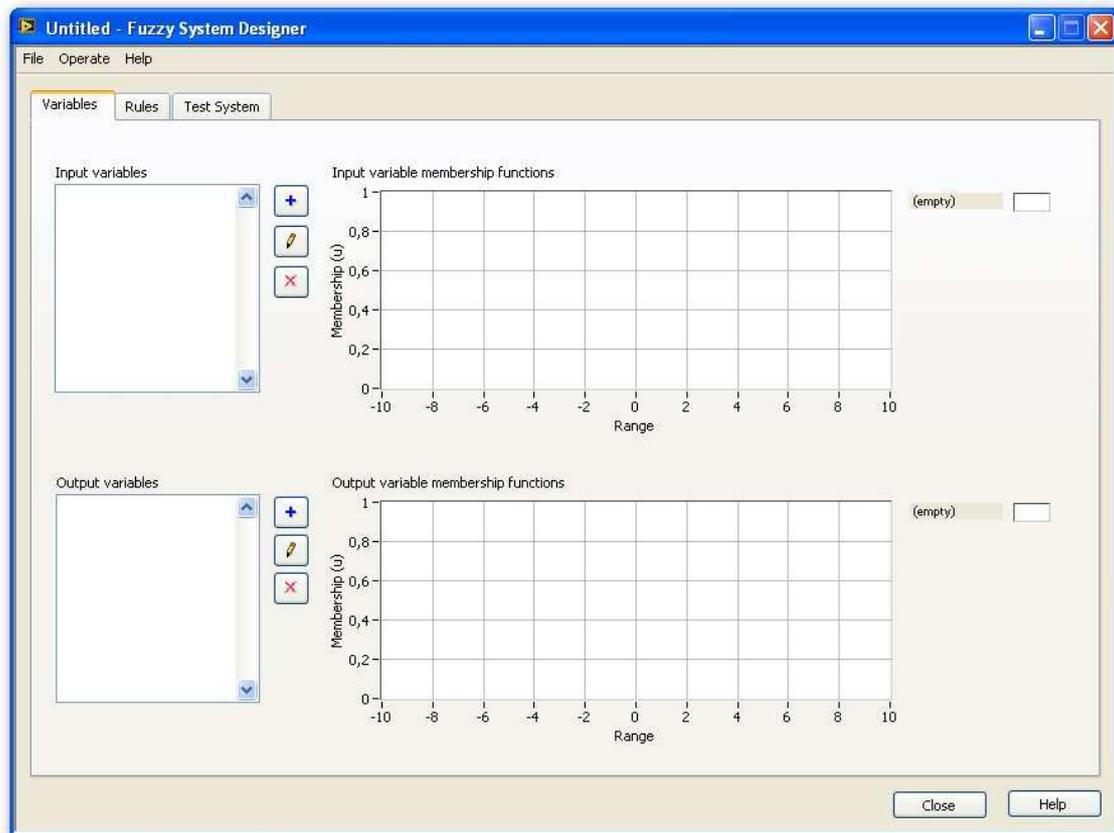
#### 3.3.2.1.-DISEÑO DEL SISTEMA DIFUSO MEDIANTE EL COMPLEMENTO FUZZY SYSTEM DESIGNER

Como ya se había descrito en el capítulo II un sistema difuso consta de tres partes principales: variables lingüísticas, funciones de pertenencia, y las reglas. Veremos a continuación como cada una de estas intervienen y como pueden ser generadas mediante la utilización de LabView® 9, para ello se utilizó un complemento para LabView® 9 denominado Fuzzy System Designer ToolKit, esta es una poderosa herramienta que permite la creación de sistemas basados en lógica difusa de manera rápida y como es una norma dentro de los complementos de LabView totalmente integrado al mismo, para ello es necesario contar con dicho complemento instalado en nuestro sistema de esta manera ya una vez dentro del entorno de programación grafica de LabView® podremos acceder a dicha herramienta, para ello debemos lanzar la misma desde el menú Tools, mismo que se encuentra al mismo desde el submenú Control Desing and Simulation.



**Figura 65.** Fuzzy System Designer.

Una vez el sistema de diseño difuso haya arrancado podremos intuitivamente reconocer cada uno de las diferentes partes de que se constituye un controlador difuso.



**Figura 66.** Interface del Diseñador de Sistemas Difusos.

### 3.3.2.2 CREACION DE VARIABLES LINGÜISTICAS

Como ya se había explicado en el capítulo II, las variables lingüísticas representan mediante palabras las variables de entrada y salida del sistema que deseemos controlar.

Cuando se crea una variable lingüística para representar una entrada o una salida variable se debe decidir cuántos términos lingüísticos o categorías de valores dicha variable lingüística va a tener.

Las variables lingüísticas usualmente tienen un número de impar de términos lingüísticos con un término lingüístico en medio y valores simétricos de términos lingüísticos a cada extremo, aunque esto no es una regla general si es aconsejable para lograr variables lingüísticas que puedan ser manejables de de mejor manera.

Generalmente y en la mayoría de las aplicaciones, tres a siete términos lingüísticos son suficientes para clasificar los valores de una variable lingüística.

Para poder entender de mejor manera estos conceptos vernos de manera resumida la manera en la que los términos lingüísticos de RIOMONITOR pueden ser generados.

Para lograr realizar el control de una válvula RIOMONITOR basa su criterio de control en variables lingüísticas de entrada y de salida, de esta manera es posible realizar un control más adecuado y eficiente debido a que los niveles intermedios de los distintos valores de ingreso para una variable pueden ser tratados en conjunto para tener un valor de salida que se acerca de mejor manera hacia nuestro modelo de control.

De esta manera es posible especificar entonces un par de parámetros llamados *Temperatura de Bomba* y *Nivel Freático* para denotar las variables de control del sistema que se pretende controlar y una variable llamada *Posición de Válvula* para el valor que será el encargado de entregar el escalar que directamente será el encargado de dar control a una determinada válvula.

Para la variable lingüística Temperatura se ha convenido en crear tres posibles escenarios que han sido llamados ***Temperatura Baja, Temperatura Media y Temperatura Alta.***

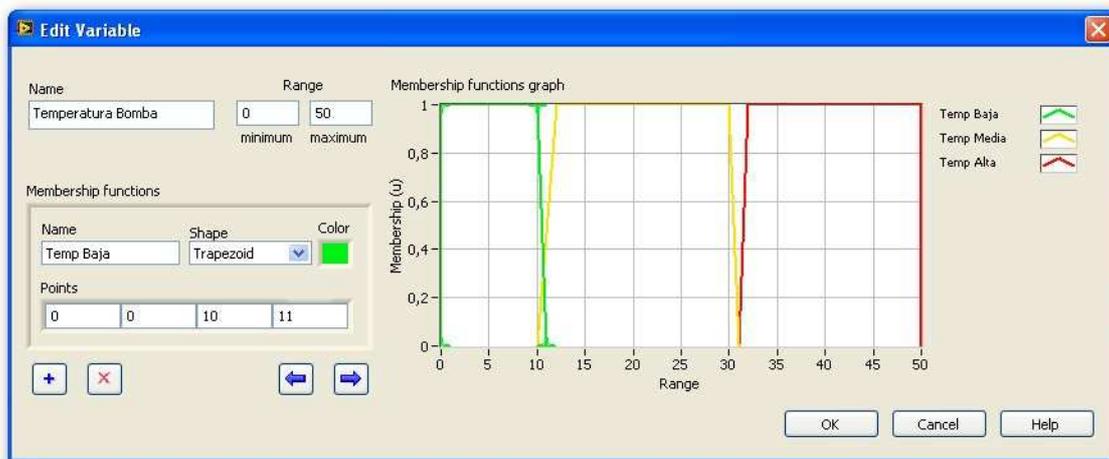
De manera similar la variable lingüística Nivel Freático contempla tres posibilidades llamados: ***Nivel Bajo, Nivel Medio, Nivel Alto.***

Por último la variable de salida Posición de Válvula presenta también tres puntos de gobierno de la velocidad de la bomba: ***Caudal Bajo, Caudal Medio, Caudal Alto.***

De esta manera es necesario crear inicialmente estas variables de entrada y de salida, para ello basta simplemente con adicionar variables en el inciso correspondiente del modulo de diseño difuso correspondiente (Input Variables & Output Variables).

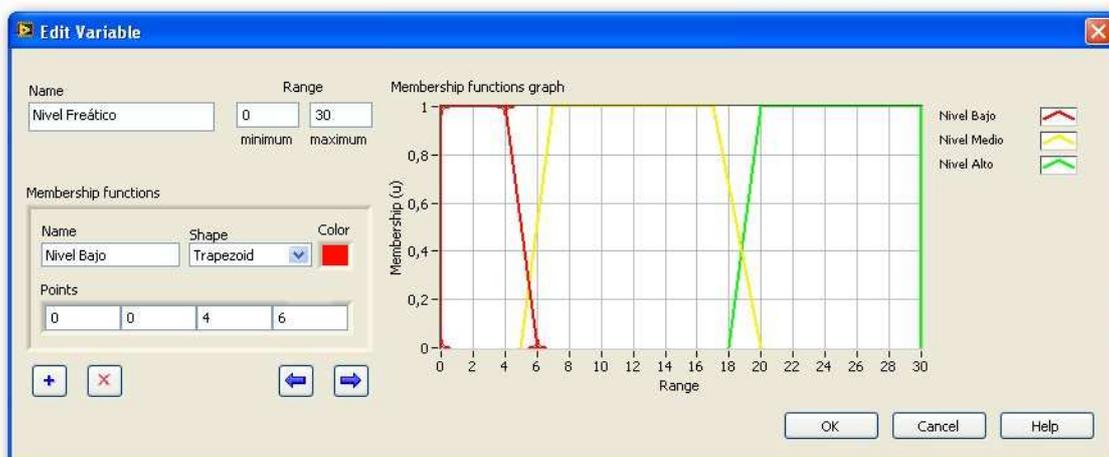
A continuación se muestran las funciones de membrecía que contienen cada una de las variables lingüísticas, para su generación es necesario brindar a las funciones de membrecía los limites necesarios de funcionamiento en este caso particular, el sistema de bomba vertical utilizado por la EMAPAR está conformado por una bomba vertical de US MOTORS, denominada VERTICAL HIGH THRUST MOTORS misma que funcionan en base a motores trifásicos, en el campo de pozos de EMAPAR se disponen de 7 de este tipo de bombas 3 de los mismos cuentan con sistemas de arranque Estrella-Triángulo y los 4

restantes arrancan de manera directa, los sistemas que disponen de arranque Estrella-Triángulo ya disponen de un sistema de seguridad de niveles eléctricos, aunque RIOMONITOR llevara el registro de los mismos, las bombas descritas funcionan mediante enfriamiento por agua, pero para operar en condiciones optimas esta temperatura deberá tener un valor máximo de 32 °C, es por ello que las funciones de membrecía generadas muestran tres secciones correspondientes a intervalos de temperaturas diferentes como se puede apreciar a continuación.



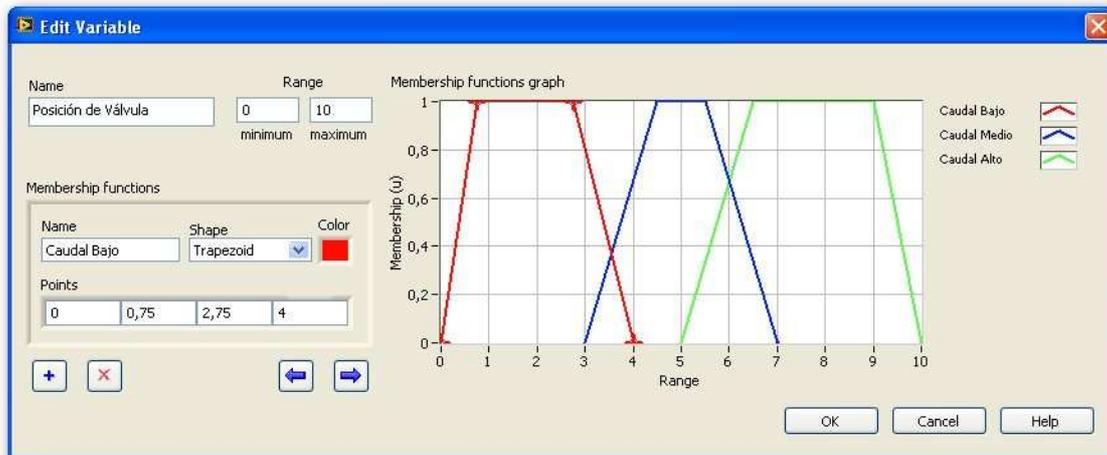
**Figura 67.** Variable Lingüística de Entrada Temperatura de Bomba.

De idéntica forma el nivel freático de uno de los pozos es recreado mediante las funciones de membrecía contenidas en la variable lingüística Nivel Freático, para verificar su interacción con la variable Temperatura de Bomba y sus valores conjuntos sobre la variable de salida Velocidad de Bomba.



**Figura 68.** Variable Lingüística de Entrada Nivel Freático.

Veamos a continuación las funciones de membresía correspondientes a la variable lingüística Posición de Válvula.



**Figura 69.** Variable Lingüística Posición de Válvula.

Una vez las variables lingüísticas se encuentran cargadas es necesario establecer un juego de reglas que permitan interactuar estas variables para por medio de ellas poder cuantificar un valor de la variable de salida dependiendo de los valores de las variables de entrada, recordemos que cuando un juego de reglas es generado es necesario ser claro y establecer reglas no contradictorias a fin de que el controlador difuso generado pueda brindar valores de salida precisos y confiables.

Como se había mencionando en el capítulo II, el número de posibles reglas resultantes para un controlador difuso dependerá de las funciones de membresía contenidas en cada una de las variables lingüísticas de que disponga el controlador difuso diseñado, de este modo para el presente controlador se tendrían dos variables lingüísticas con tres funciones de membresía cada una, veamos a continuación el numero de reglas que serán necesarias crear,

$$N = p_1 \times p_2 \times \dots \times p_n$$

$$N = 3 \times 3$$

$$N = 9$$

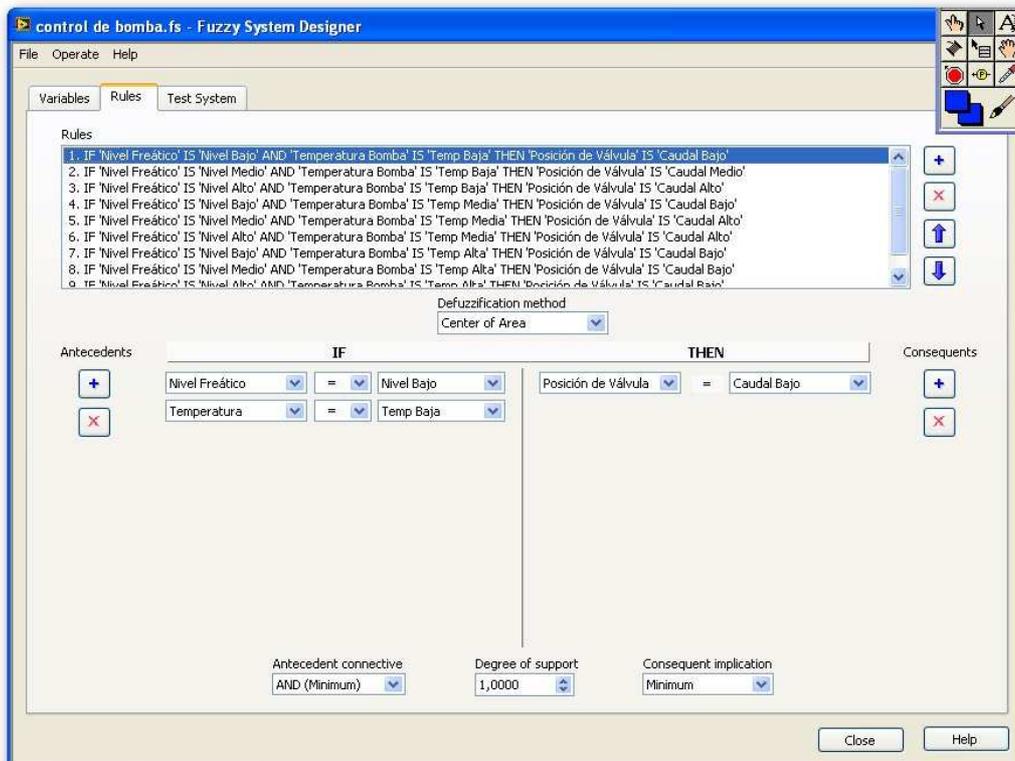
Dándonos un total de 9 reglas posibles para gobernar el sistema de control difuso propuesto.

Veamos a continuación la matriz difusa que caracteriza el controlador difuso propuesto.

AND		NIVEL FRATICO (AGUA EN POZO)		
		BAJO	MEDIO	ALTO
T E M P E R A T U R A	B A J A	Válvula Baja	Válvula Media	Válvula Alta
	M E D I A	Válvula Baja	Válvula Alta	Válvula Alta
	A L T A	Válvula Baja	Válvula Baja	Válvula Baja

**Figura 70.** Matriz difusa resultante.

Una vez la matriz ha sido generada esta puede ser volcada hacia el sistema de generación de reglas para cargar el controlador.



**Figura 71.** Conjunto de Reglas generadas para el controlador difuso.

## **CAPITULO IV**

### **4.- PRESENTACION DE RESULTADOS**

#### **4.1.- RESULTADOS OBTENIDOS**

Una vez demostrado el funcionamiento del sistema de monitoreo y control en el prototipo a escala se puede verificar que la propuesta de realizar el monitoreo remoto de las instalaciones del campo de pozos de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba es plenamente factible, este proyecto fue dividido en dos partes, por un lado la parte destinada a los estudios que garanticen que la información va a poder ser obtenida y transmitidas a las instalaciones centrales de EMAPAR y que sean recibidas de manera confiable, y por otra la posibilidad de que esta información pueda ser procesada para que luego pueda ser nuevamente utilizada para realimentar sistemas de control más complejos.

Los estudios de propagación radioeléctrica corroboran esta afirmación, la comunicación del denominado CAMPO DE POZOS, AEREADORES y EMAPAR-R es totalmente realizable, la información emitida es altamente confiable lo que es además un requisito fundamental para poder realizar procesos posteriores de control.

Es palpable de forma directa también la manera en la que el modelo a escala trabaja realizando las operaciones previstas de manera correcta y eficaz logrando obtener datos de corriente, voltajes y caudales almacenándolos en un sistema de base de datos cronológico, mismo que puede ser consultado mediante la propia interface del programa, esta información mediante el propio software es almacenada automáticamente y puede ser utilizado como fuente de información para sistemas o programas de análisis estadísticos ajenos al presente trabajo de investigación.

El diseño del prototipo demuestra que si el sistema propuesto en el presente trabajo de investigación es llevado a cabo puede monitorizar de forma eficiente los campos de pozos y ductos del sistema de agua potable de la ciudad de Riobamba y muestra también que es capaz de ser expandido dependiendo de los requerimientos que deba poder manejar a futuro, como, funciones de control mayores ya que los canales de comunicación bidireccionales

propuestos en el presente trabajo así lo aseguran gracias a enlaces radiales de alta confiabilidad y seguridad.

Se logro determinar además toda la infraestructura necesaria para lograr monitorizar las variables de los campo de pozos y poder llegar con los mismos hasta la sede de la Empresa Municipal de Agua Potable de Riobamba.

De igual manera el diseño realizado es totalmente funcional y adaptable a necesidades futuras que podrían ser requeridos y que pueden ser sensados realizando pequeñas modificaciones al programa realizado mediante LabView® 9 lo que garantiza tener flexibilidad, rápida adaptabilidad y versatilidad al momento de ejecutar dichos cambios.

Se probó también que la disposición de los nodos WSN propuesta es una manera valida de montar dicha red ya que esta distribución asegura ser eficiente para la adquisición de datos utilizando los mínimos recursos valiéndose de soluciones sencillas pero ingeniosas que permitirán operar al sistema con la inversión justa y necesaria.

La implementación del prototipo a escala nos permite verificar también que las propuestas expuestas en el presente documento son plenamente viables y verificables desde el punto de vista del software ya que este está escrito de tal manera que brinde la posibilidad de operar tanto en el prototipo a escala como directamente en el campo de pozos para realizar las tareas monitoreo y control, la flexibilidad del sistema es tal que permitiría la desconexión de los sensores de medición del modelo a escala y simplemente “conectarse” a los sensores instalados en el campo de pozos, además de poder expandirse a gran cantidad de fuentes de ingreso de datos existentes como por ejemplo los sistemas de macro medición que dispone en la actualidad la EMAPAR-R así como sistemas de medición que fuesen necesarios ser incorporados a futuro.

Por último el análisis técnico económico es una útil ayuda para contemplar los alcances financieros que una propuesta como la de este tipo supone, ayudando en este caso a la EMAPAR a tener una referencia de los costos que alcanzarían emprender una tarea de este tipo .

## **CAPITULO V**

### **5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1.- CONCLUSIONES**

- La transmisión de la información adquirida desde la estación CAMPO DE POZOS hacia la sede de la EMAPAR de manera inalámbrica realizando un salto en la estación AEREADORES puede ser implementada garantizándose su correcto funcionamiento y alta disponibilidad acorde a las variaciones climatológicas propias de la zona, esto queda demostrado mediante los cálculos de ingeniería realizados donde encontrándose una fiabilidad de enlace del 99.99% con 1,43 segundos fuera de servicio al año (en el peor escenario de margen de desvanecimiento) factor que es de vital importancia en proyectos donde las mediciones deben ser adquiridas y enviadas hasta su centro de monitoreo y gestión de manera confiable.
- Las redes de monitoreo industrial WSN brindan altos periodos de tiempo de autonomía (generalmente 24 a 36 meses), y no presentan problemas de adaptabilidad y compatibilidad con la plataforma (Labview® 9) destinada a realizar los procesos de monitoreo y control, punto que debe ser tomado muy en cuenta a fin de lograr garantizar que la información adquirida va a ser procesada de manera efectiva por el software escrito para dicha tarea, además las capacidades de fácil expansión que presentan las redes WSN montadas con equipos de National Instruments, brindan capacidades de utilización del 100% de la instrumentación virtual disponible dentro del entorno de programación de Labview® 9 lo que facilita de enorme manera la tarea de ampliar la red dependiendo de las futuras necesidades que se vayan a presentar por parte de la EMAPAR, esto facilita la conexión nuevos sensores de nuevas variables presentadas en los posibles escenarios donde puedan ser necesitados, en las zonas donde se requieran ser medidas.
- El prototipo experimental que se evaluado en conjunto con el software desarrollado permite adquirir las variables (voltajes, corrientes, caudales, temperaturas) que necesita conocer la EMAPAR así como su utilización

en procesos de control lo que demuestra que esta es una solución factible que permitirá solucionar las necesidades de monitoreo del campo de pozos de EMAPAR, así mismo la escalabilidad en el tiempo de nuevas estaciones de bombeo que requieran estos procesos de monitoreo y control, ya que la tecnología sobre la cual se sugiere montar esta solución (redes industriales WSN) permiten llevar a cabo las mencionadas ampliaciones de canales de monitoreo desde diferentes puntos geográficos.

- Los radios PDH SIAE sugeridos a utilizarse pueden aumentar su capacidad de tráfico al incorporarse tarjetas de expansión de tributarios (E1s/T1s), dependiendo de las necesidades de crecimiento de la propia EMAPAR, se sugiere que el presente proyecto sea iniciado con una capacidad de tráfico de 8E1s.

## 5.2.- RECOMENDACIONES

Si bien el proceso de validación de los radioenlaces requeridos en los distintos lugares donde se tiene previsto se colocaran los enlaces radiales se encuentran realizados de manera meticulosa para procesos de cálculo obtención de potencias y valores nominales de transmisión requeridas para poder establecer un radioenlace confiable es necesario una vez la torre se encuentre montada realizar un escaneo de espectro en el lugar y la altura misma donde se vaya a ubicar las antenas y sus respectivas unidades ODU para asegurarnos de que el sistema de enlace radial no será interferido por alguna otra portadora existente en nuestro trayecto, en caso de que este inconveniente se llegara a presentar será necesario realizar el cambio de canalización de nuestro sistema a fin de setear el sistema radial en otra frecuencia que se encuentre libre de interferencias en dicho lugar.

Si bien los sistemas de comunicación basados en la norma ZigBee poseen gran rendimiento de duración de sus baterías, es preferible dotar a estas estaciones de monitoreo de sistemas de alimentación de mayor capacidad, en el presente trabajo lograr dicho objetivo no presenta inconvenientes debido a que en cada uno de los pozos se cuenta con energía de alimentación de la red comercial, si en un futuro es necesario por ejemplo realizar mediciones de la red de conducción del liquido vital que se encuentran alejadas del suministro comercial de energía deberían plantearse alternativas disponibles como el trabajar con sistemas de respaldo basados en baterías de mayor capacidad y paneles solares que brinden carga de manera continua a dichas baterías de esta manera la transmisión de datos se encontrará garantizada.

La colocación de los sistemas de macro medición (Caudalímetros Electromagnéticos) sugeridos en el presente trabajo presentan varias situaciones de colocación especiales que deberán ser respetadas para lograr obtener una instalación que brinde datos acertados, la información específica necesaria para lograr una instalación adecuada suele ser proporcionada por el fabricante de los caudalímetros adquiridos, pero los lineamientos generales de los procesos de instalación pueden ser encontradas en el presente documento.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Chapman, S.J., "Máquinas Eléctricas". Mc- Graw-Hill, Madrid, 1ra ed. (1989).
- Martín, J. C., "Automatismos Industriales". EDITEX, 1ra ed. (2009).
- Travis, J; Kring J., "LabVIEW for Everyone". Prentice Hall, 3ra ed. (2006).
- Bishop, R., "LabVIEW 2009". Prentice Hall, 1ra ed. (2009).
- Lazaro , A; Fernandez ,J., "Programación gráfica para el control de instrumentación". Paraninfo, Edición 2005. (2005).
- "LabVIEW PID and Fuzzy Logic Toolkit User Manual", June 2009, Part Number: 372192D-01.
- "LabVIEW Database Connectivity Toolkit User Manual", June 2008, Part Number: 371525A-01.
- "NI Wireless Sensor Network Getting Started Guide", August 2010, Part Number: 372781C-01.
- PahtLoss User Manual.
- Radio Mobile User Manual.
- SIAE, ALCPLUS PDH Radio User Manual, Siae Microelettronica, Italy, 2009.
- "Genius, Protección de Motores", Genius technologies, Venezuela, 2008.

**ANEXOS:**  
**ANEXO I**  
**Bombas e Instalaciones de la EMAPAR sector Llio**



**Fotografía 1.** Motor Vertical AC - US Electrical Motors



**Fotografía 2.** Motor Vertical AC - US Electrical Motors



**Fotografía 3. Motor Vertical AC - US Electrical Motors**



**Fotografía 4. Motor Vertical AC - US Electrical Motors**



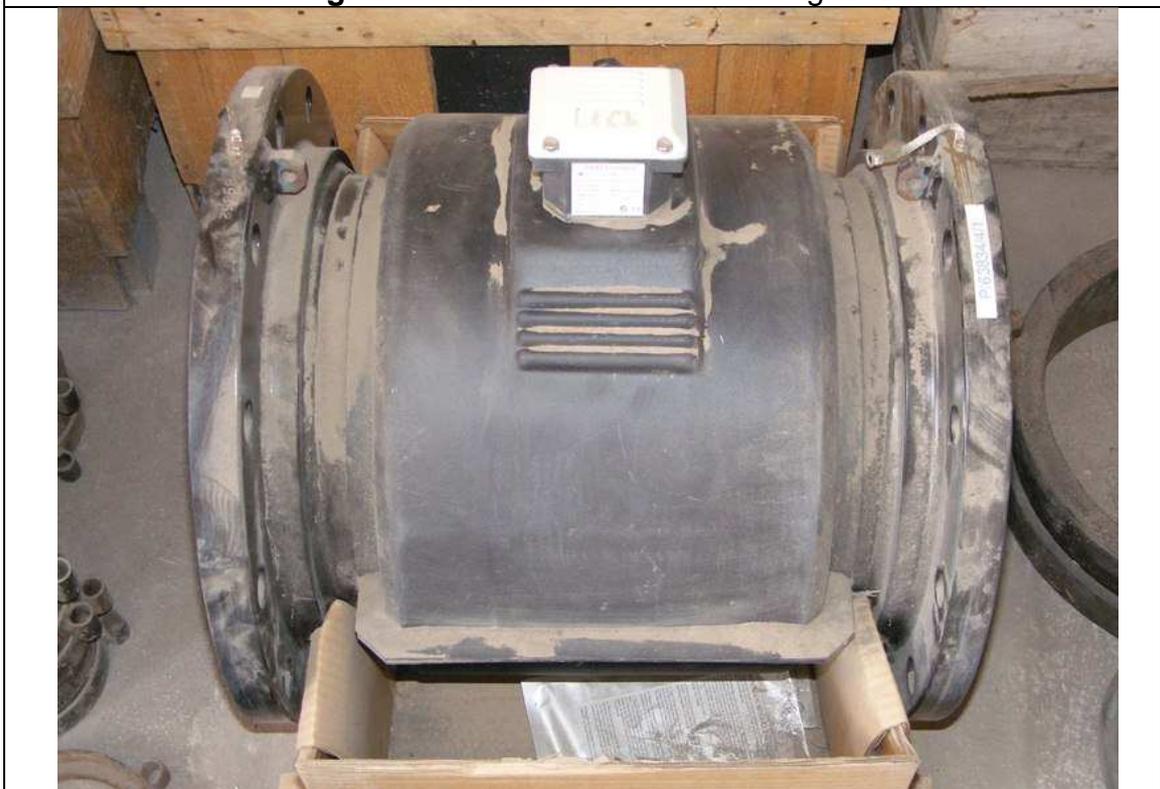
**Fotografía 5. Tubería de Hierro Dúctil**



**Fotografía 6. Tubería de Hierro Dúctil**



**Fotografía 7. Caudalímetro Electromagnético**



**Fotografía 8. Caudalímetro Electromagnético**



**Fotografía 9.** Caudalímetro Electromagnético



**Fotografía 10.** Caudalímetro Electromagnético



Fotografía 11. Sensor Caudalímetro Electromagnético



Fotografía 12. Sistema de Protección de Fases



Fotografía 13. Sistema de Protección de Fases Franklin Electric



Fotografía 14. Relé de Retardo, conexión Estrella-Triángulo

## **ANEXO II ANALISIS DE COSTOS DE IMPLEMENTACION**

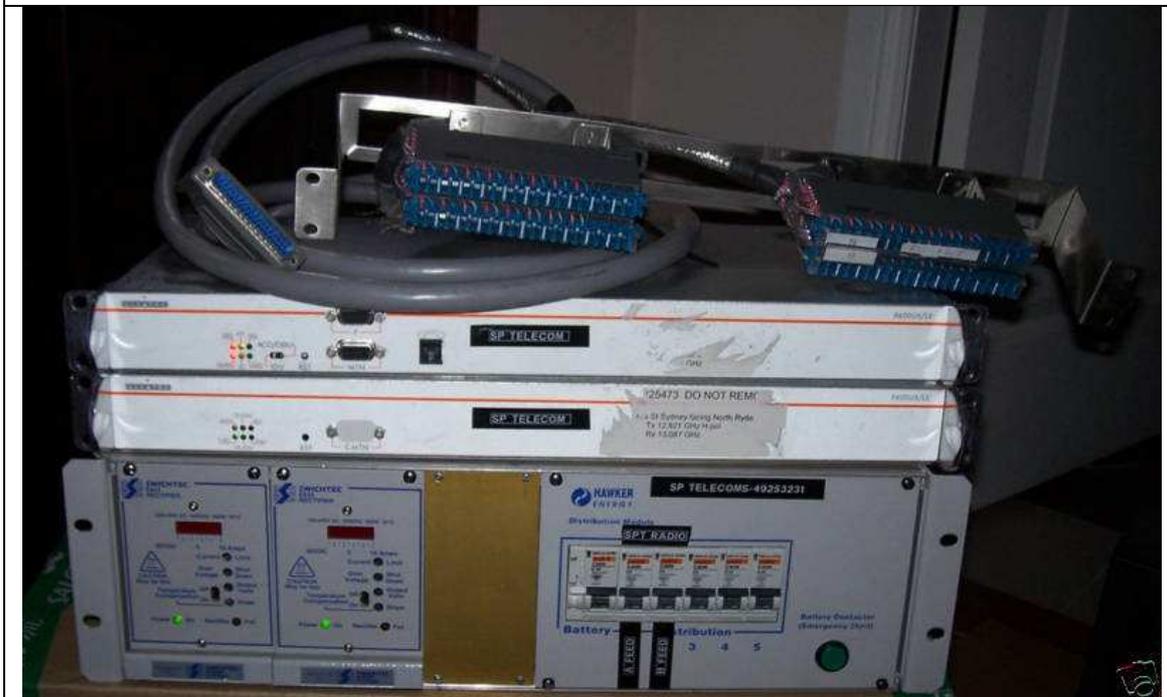
El siguiente análisis de costos ha sido realizado mediante la consulta a las empresas que ofrecen sus productos y servicios en el país, de esta manera se ha consultado a tres empresas que disponen de los equipos y obra civil requeridos para este proyecto, Las empresas consultadas fueron **MAGA**, empresa dedicada al diseño implementación y construcción de torres de telecomunicaciones (Quito), **SIAE Microeletronica Andina**, como la proveedora de sistemas de telecomunicaciones (Quito), y **HIGHLIGHTS Ecuador** como distribuidor de productos National Instruments para el Ecuador (Cuenca).

<b>Articulo</b>	<b>Costo U</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total</b>
Torre 60 m (Viento)	25000 usd	2	50000 usd
Radio enlaces	5000 usd	2	10000 usd
Termopares	300 usd	6	1800 usd
Trans Nucleo Div	100 usd	6	600 usd
Labview® 9	1600 usd	1	1600 usd
Fuzzy Logic Toolkit	1400 usd	1	1400 usd
Database Connectivity Toolkit	1400 usd	1	1400 usd
Nodo de Lectura WSN	460 usd	7	3220 usd
Gateway WSN	850 usd	1	850 usd
Cableado alimentación	500 usd	1	500 usd
<b>Total</b>			<b>71370 usd</b>

**ANEXO III**  
**DIFERENTES OPCIONES DE RADIOS PDH**



Radio Siemens Sral XD



Alcatel 9400 UX/LX



## VERTICAL HIGH THRUST MOTORS



## INSTALLATION, OPERATION, AND MAINTENANCE MANUAL



## **SAFETY FIRST!**

High voltage and rotating parts can cause serious injury or loss of life. Installation, operation, and maintenance must be performed by qualified personnel. Familiarization with and adherence to NEMA MG2, the National Electrical Code, and local codes is recommended. It is important to observe safety precautions to protect personnel from possible injury. Personnel should be instructed to:

1. Disconnect all power to motor and accessories prior to initiating any installation, maintenance, or repairs. Also ensure that driven equipment connected to the motor shaft will not cause the motor to rotate (windmilling of fans, water flowing back through pump, etc.).
2. Avoid contact with rotating parts.
3. Act with care in accordance with this manual's prescribed procedures in handling and installing this equipment.
4. Be sure unit and accessories are electrically grounded and proper electrical installation wiring and controls are used in accordance with local and national electrical codes. Refer to "National Electrical Code Handbook" - NFPA No. 70. Employ qualified electricians.
5. Be sure equipment is properly enclosed to prevent access by children or other unauthorized personnel in order to prevent possible accidents.
6. Be sure shaft key is fully captive before unit is energized.
7. Provide proper safeguards for personnel against rotating parts and applications involving high inertia loads which can cause overspeed.
8. Avoid extended exposure to equipment with high noise levels.
9. Observe good safety habits at all times and use care to avoid injury to yourself or damage to equipment.
10. Be familiar with the equipment and read all instructions thoroughly before installing or working on equipment.
11. Observe all special instructions attached to the equipment. Remove shipping fixtures if so equipped before energizing unit.
12. Check motor and driven equipment for proper rotation and phase sequence prior to coupling. Also check if a unidirectional motor is supplied and note proper rotation.
13. Electric motors can retain a lethal charge even after being shut off. Certain accessories (space heaters, etc.) are normally energized when the motor is turned off. Other accessories such as power factor correction capacitors, surge capacitors, etc. can retain an electrical charge after being shut off and
14. Do not apply power correction capacitors to motors rated for operation with variable frequency drives. Serious damage to the drive will result if capacitors are placed between the motor and drive. Consult drive supplier for further information.





I. SHIPMENT ..... 1

II. HANDLING ..... 1

III. STORAGE ..... 1

IV. INSTALLATION LOCATION ..... 5

V. INITIAL INSTALLATION ..... 6

VI. NORMAL OPERATION ..... 10

VII. NON-REVERSE RATCHET ..... 11

VIII. END PLAY ADJUSTMENT ..... 11

IX. LUBRICATION ..... 14

X. TROUBLESHOOTING ..... 18

XI. SPARE PARTS ..... 20

XII. NAMEPLATE & INSTALLATION RECORD ..... 33

APPENDICES

APPENDIX A "EFFECTS OF UNBALANCED LINE VOLTAGE" ..... 35

APPENDIX B "MOTORS APPLIED TO VARIABLE FREQUENCY DRIVES" ..... 36

APPENDIX C "ELECTRIC MOTOR LOAD TEST USING THE WATT-HOUR METER" ..... 37





## I. SHIPMENT

Prior to shipment, all motors undergo extensive mechanical and electrical testing, and are thoroughly inspected. Upon receipt of the motor, carefully inspect the unit for any signs of damage that may have occurred during shipment. Should such damage be evident, unpack the motor at once in the presence of a claims adjuster and immediately report all damage and breakage to the transportation company.

When contacting U.S. Electrical Motors concerning the motor, be sure to include the complete motor identification number, frame, and type which appear on the nameplate.

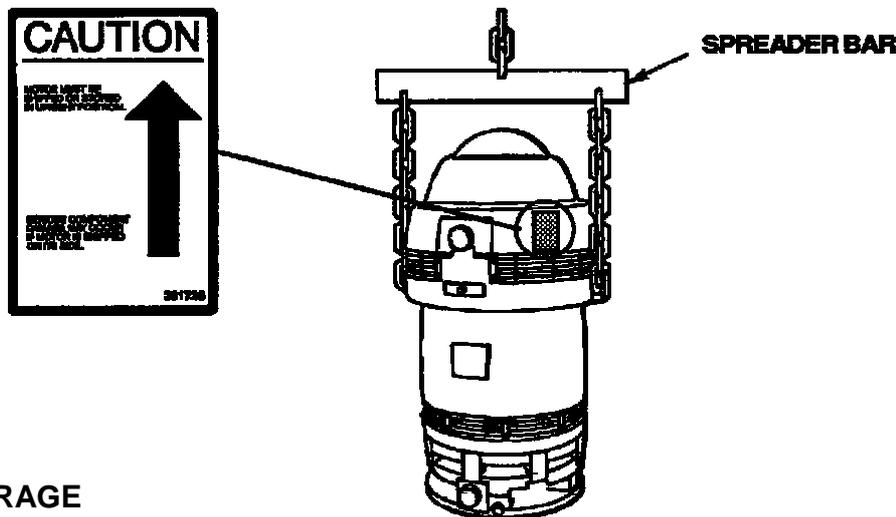
## II. HANDLING

The equipment needed to handle the motor includes a hoist and spreader bar arrangement (see Figure 1) of sufficient strength to lift the motor safely. The spreader bar should have the lifting rings or hooks positioned to equal the span of the lifting lugs or eyebolts. The lifting lugs or eyebolts are intended to lift the motor weight only.

### **▲ WARNING**

*Lifting the motor by other means may result in damage to the motor or injury to personnel.*

FIGURE 1



## III. STORAGE

### 1. When To Put A Motor In Storage.

If a motor is not put into immediate service (one month or less), or if it is taken out of service for a prolonged period, special storage precautions should be taken to prevent damage. The following schedule is recommended as a guide to determine storage needs.





- A. Out of service or in storage less than one month - no special precautions except that space heaters, if supplied, must be energized at any time the motor is not running.
- B. Out of service or in storage for more than one month but less than six months - store per items 2A, B, C, D, E, F2, and G, items 3A, B, and C, and item 4.
- C. Out of service or in storage for six months or more - all recommendations.

2. Storage Preparation.

- A. Where possible, motors should be stored indoors in a clean, dry area.
- B. When indoor storage is not possible, the motors must be covered with a tarpaulin. This cover should extend to the ground; however, it should not tightly wrap the motor. This will allow the captive air space to breathe, minimizing formation of condensation. Care must also be taken to protect the motor from flooding or from harmful chemical vapors.

**▲ CAUTION**

***Immediately remove any shrink wrap used during shipping. Never wrap any motor in plastic for storage. This can turn the motor into a moisture trap causing severe, non-warranty damage.***

- C. Whether indoors or out, the area of storage should be free from excessive ambient vibration which can cause bearing damage.
- D. Precautions should be taken to prevent rodents, snakes, birds, or other small animals from nesting inside the motors. In areas where they are prevalent, precautions must be taken to prevent insects, such as dauber wasps, from gaining access to the interior of the motor.
- E. Inspect the rust preventative coating on all external machined surfaces, including shaft extensions. If necessary, re-coat the surfaces with a rust preventative material, such as Rust Veto No. 342 (manufactured by E.F. Houghton Co.) or an equivalent. The condition of the coating should be checked periodically and surfaces re-coated as needed.
- F. Bearings:
  - (1) When storage time is 6 months or more, grease lubricated cavities must be completely filled with lubricant. Remove the drain plug and fill cavity with grease until grease begins to purge from drain opening. Refer to section IX. "LUBRICATION" and/or review motor's lubrication nameplate for correct lubricant.

**▲ CAUTION**

***Do not re-grease bearings with drain closed or with unit running.***

- (2) Oil lubricated motors are shipped without oil. When storage time exceeds one (1) month, the oil sumps must be filled to the maximum capacity as indicated on the oil chamber sight gauge window. Refer to motor lubrication nameplate or Section IX "Lubrication" for proper oil.





**NOTE:** Motor must not be moved with oil in reservoir. Drain oil before moving to prevent sloshing and possible damage. With a clean cloth, wipe any excess oil from the threads of the drain plug and the inside of the drain hole. Apply Gasoila P/N SS08 or equivalent thread sealant to the threads of the drain plug and replace the plug in the oil drain hole. Refill oil when motor has been moved to the new location.

- G. To prevent moisture accumulation, some form of heating must be utilized. This heating should maintain the winding temperature at a minimum of 5° above ambient. If space heaters are supplied, they should be energized. If none are available, single phase or "trickle" heating may be utilized by energizing one phase of the motor's winding with a low voltage. Request the required voltage and transformer capacity from U.S. Electrical Motors. A third option is to use an auxiliary heat source and keep the winding warm by either convection or blowing warm air into the motor.

**3. Periodic Maintenance.**

- A. Oil should be inspected monthly for evidence of moisture or oxidation. The oil must be replaced whenever contamination is noted or every twelve months; whichever occurs first. It is important to wipe excess oil from the threads of the drain plug and the drain hole and to coat the plug threads with Gasoila P/N SS08 or equivalent thread sealant before replacing the drain plug.
- B. Grease lubricated bearings must be inspected once a month for moisture and oxidation by purging a small quantity of grease through the drain. If any contamination is present, the grease must be completely removed and replaced.
- C. All motors must have the shaft rotated once a month to maintain a lubricant film on the bearing races and journals.
- D. Insulation History:

The only accurate way to evaluate the condition of the winding insulation is to maintain a history of the insulation readings. Over a period of months or years these readings will tend to indicate a trend. If a downward trend develops, or if the resistance drops too low, thoroughly clean and dry the windings, retreating if necessary, by an authorized electrical apparatus service shop.

The recommended insulation resistance test is as follows:

- (1) Using a megohm meter, with winding at ambient temperature, apply DC voltage (noted below) for sixty seconds and take reading.

<b>Rated Motor Voltage</b>	<b>Recommended DC Test Voltage</b>
Up to 600 (inclusive)	500 VDC
601 to 1000 (inclusive)	500 to 1000 VDC
1001 and up	500 to 2500 VDC (2500 VDC optimum)





(2) For comparison, the reading should be corrected to a 40°C base temperature. This may be done by utilizing the following formula:

$$R_{40C} = K_t \times R_t$$

Where:

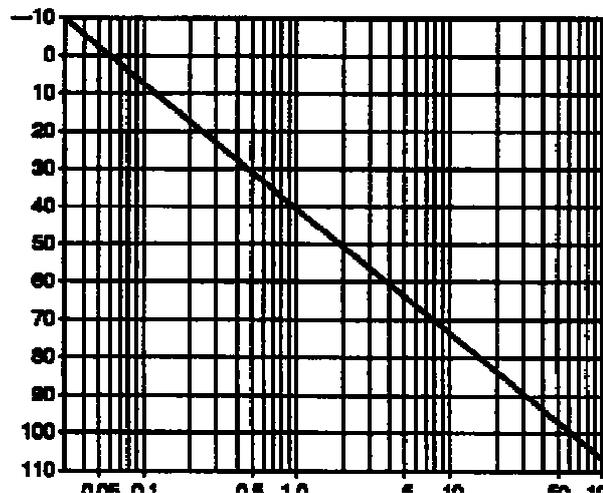
$R_{40C}$  = insulation resistance (in megohms) corrected to 40°C

$R_t$  = measured insulation resistance (in megohms)

$K_t$  = temperature coefficient (from Graph 1)

**GRAPH 1**

**WINDING  
TEMPERATURE  
(°C)**



(Adapted from IEEE 43)

**INSULATION RESISTANCE TEMPERATURE COEFFICIENT (K<sub>t</sub>)**

(3) Insulation resistance readings must not drop below the value indicated by the following formula:

$$R_m = K_v + 1$$

Where:

$R_m$  = minimum insulation (in megohms) at 40°C

$K_v$  = rated motor voltage in kilovolts

(4) Dielectric absorption ratio:

In addition to the individual test reading, a dielectric absorption ratio may be required. The dielectric absorption ratio is obtained by taking megohm meter readings at a one minute and ten minute interval, or when hand powered megohm meters are used, at a thirty second and sixty second interval. The voltage should be the same as outlined in part 1 of this procedure.

The ratio is obtained by dividing the second reading by the first reading and is based on a good insulation system increasing its resistance when subjected to a test voltage for a period of time.





**10 Minute: 1 Minute**

Dangerous = Less than 1.0  
Poor = 1.0 to 1.4  
Questionable = 1.5 to 1.9  
Fair = 2.0 to 2.9  
Good = 3.0 to 4.0  
Excellent = Over 4.0

**60 Second: 30 Second**

Poor = Less than 1.1  
Questionable = 1.1 to 1.24  
Fair = 1.25 to 1.3  
Good = 1.4 to 1.6  
Excellent = Over 1.6

If a low insulation resistance reading is obtained in either the individual test or dielectric absorption ratio test, thoroughly clean and dry the windings. Recheck insulation resistance and dielectric absorption ratio.

**NOTE:** Slightly lower dielectric absorption ratios may be acceptable when high initial insulation resistance readings are obtained (1000 + megohms). Refer any questions to USEM Product Service Department.

For additional information on insulation testing, refer to IEEE Transaction No. 43.

**4. Start-up Preparations After Storage.**

- A. Motor should be thoroughly inspected and cleaned to restore to an "As Shipped" condition.
- B. Motors which have been subjected to vibration must be disassembled and each bearing inspected for damage.
- C. When storage time has been six (6) months or more, oil and/or grease must be completely changed using lubricants and methods recommended on the motor's lubrication plate, or in Section **IX - "LUBRICATION."**
- D. The winding must be tested to obtain insulation resistance and dielectric absorption ratio as described in Section **III., item 3.**
- E. Contact USEM Product Service Department prior to start-up if storage time has exceeded one year.

**IV. INSTALLATION LOCATION**

When selecting a location for the motor and driven unit, keep the following items in mind:

1. The location should be clean, dry, well ventilated, properly drained, and provide accessibility for inspection, lubrication, and maintenance. Outdoor installations on open dripproof motors require protection from the elements.
2. The location should provide adequate space for motor removal without shifting the driven unit.
3. Temperature rise of a standard motor is based upon operation at an altitude not exceeding 3300 feet (1000 meters) above sea level unless specified otherwise on nameplate.





4. To avoid condensation inside the motor, it should not be stored or operated in areas subject to rapid temperature changes unless it is energized or protected by space heaters.
5. The motor should not be installed in close proximity to any combustible material or where flammable gases may be present, unless it is specifically built for that environment and is U.L. labeled accordingly.
6. Oil lubricated motors must be mounted within one degree of true vertical. Failure to do so will result in oil leakage and possibly bearing failure.

## V. INITIAL INSTALLATION

### 1. General

Reliable, trouble free operation of a motor and driven unit depends on a properly designed foundation and base plus good alignment. If the motor and driven unit are not installed properly, the following may result:

- \* Noisy operation
- \* Excessive vibration
- \* Bearing damage or failure
- \* Motor failure

### 2. Shaft Alignment

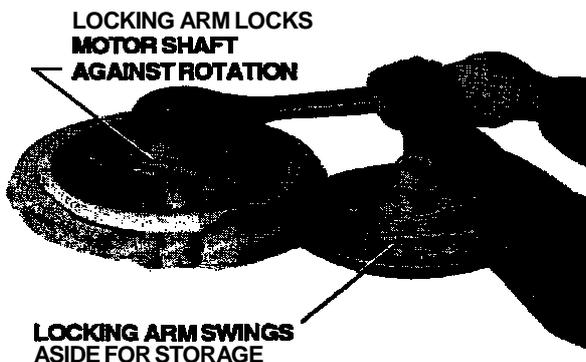
On Hollowshaft motors, the pump shaft and motor coupling must be aligned within .003" TIR. On Solidshaft motors, the motor and pump shafts must be aligned within .002" TIR.

### 3. Pump Shaft Adjustment (Hollowshaft motors only)

To facilitate axial pump shaft adjustment, a locking feature is provided to lock the motor shaft against rotation. The two types of locking features are as follows:

- A. Locking arm (Figure 2) -The locking arm is bolted to a stationary part and is pinned (for best results use arm in tension) or interferes with a rotating part (when locking arm is not in use it should be moved out of the way and bolted in place).
- B. Pinning through mating holes-Holes are provided in both a stationary and rotating part which line up allowing insertion of a pin.

**FIGURE 2**



### **▲ WARNING**

*Locking device must be disengaged prior to starting motor or motor damage and/or injury to personnel may result.*



### ▲ CAUTION

Care should be exercised when lowering the motor over the pump shaft so that the oil retaining tube in the lower bracket is not damaged (applies only to motors with oil lubricated lower bearing).

#### 4. Drive Coupling (Holloshaft units only).

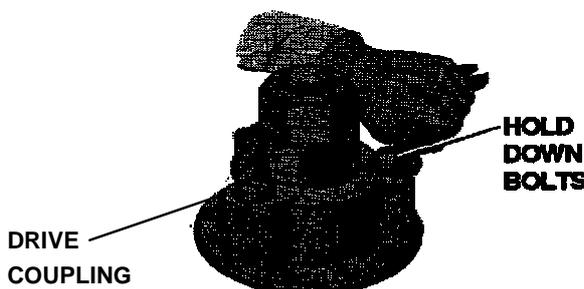
The drive coupling may be utilized in one of two ways:

- A. Bolted type (Figure 3) - Hold down bolts are installed (some motors require removal of driving pins to allow installation of hold down bolts) in the drive coupling to prevent upward movement of the pump shaft. This will allow momentary upthrust from the pump to be taken by the motor's guide bearing.

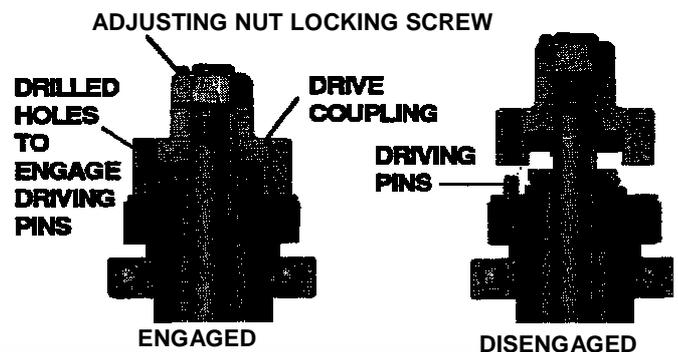
### ▲ WARNING

Failure to tighten coupling and non-reverse ratchet bolts to required torque values may cause bolts to break, resulting in equipment damage or injury to personnel.

**BOLTED COUPLING  
FIGURE 3**



**SELF RELEASE COUPLING  
FIGURE 4**



- B. Self-release type (Figure 4) - Driving pins are used to engage the drive coupling with the rotor. A power reversal may unscrew the joints of the pump shafting, causing the shafting to lengthen and buckle or break if the shafting is restrained. The self-release coupling will lift out of engagement with partial unscrewing of the shafting, thus stopping further rotation of the pump. The following items must be followed for proper functioning of the self-release coupling:

- The pump shaft adjusting nut must be properly secured to the drive coupling with a locking screw.
- The drive coupling should not bind on the driving pins.
- The drive coupling must not be bolted down.
- The pump shaft must be concentric to the motor shaft to prevent rubbing of the pump shaft inside the motor shaft.
- There must be no potential for upthrust in the application.
- Do not use the self-release feature in conjunction with a lower steady bushing, as friction between the parts can damage the line shafting and/or bushing.
- Due to the possibility of sparking as the parts separate, the self-release feature must not be used in an environment where explosive gases may be present.





**▲ WARNING**

***Should a motor supplied with a self-release coupling become uncoupled, the motor and pump must be stationary and all power locked out before manually re-coupling.***

5. Water Cooling For Bearing Oil Reservoir.

If the motor is equipped with cooling coils in the oil reservoir, a minimum water supply of 4 GPM must be maintained at a maximum of 125 PSI with a 32°C (90° F) maximum inlet temperature. External water connections must be self draining to prevent cooling coil rupture at freezing temperatures. Use clean, noncorrosive water only. If corrosive conditions exist and are specified at time of motor order, special corrosion resistant fittings can be supplied.

6. Electrical Connection.

Refer to the motor nameplate for power supply requirements and to the connection diagram on the motor. Be sure connections are tight. Check carefully and assure that they agree with the connection diagram, then carefully tape all connections with electrical tape to be sure that they will not short against each other or to ground. Be sure the motor is grounded to guard against possible electrical shock. Refer to the National Electrical Code Handbook (NFPA No. 70) and to local electrical codes for proper wiring, protection, and wire sizing. Be sure proper starting equipment and protective devices are used for every motor. For assistance contact the local sales office of the motor starter manufacturer for the particular brand of equipment you are using.

Part Winding Starters: Part winding starters used with part winding start motors should have the timer set at a minimum time consistent with the power company requirements. The recommended maximum time on part winding is two seconds. Setting the timer for longer periods can cause permanent damage to the motor and may void the warranty. Note that motor may or may not start on part winding start connection.

7. Direction Of Rotation.

As a standard, motors that are equipped with a non-reverse ratchet are designed to operate in a counter-clockwise direction as viewed from the top of the motor. Also, some high speed motors have unidirectional ventilating fans. When the motor has a unidirectional ventilating fan, the direction of rotation is indicated by an arrow mounted on the motor and by a warning plate mounted near the main nameplate.

**▲ CAUTION**

***Apply power momentarily to observe the direction of rotation for which the leads are connected. Motor damage may occur if power is applied for more than ten seconds while rotation is locked against the non-reverse ratchet. The motor should be uncoupled from the driven equipment during this procedure to assure driven equipment is not damaged by reverse rotation. Couplings (if installed) should be properly secured.***

***To reverse direction of rotation (if motor is not operating in the correct direction) interchange any two of the three power leads on the motor. Be sure the power is off and steps are taken to prevent accidental starting of the motor before attempting to change electrical connection.***





8. Spring-Preloaded Thrust Bearings.

Motors built with spherical roller thrust bearings (bearing number 29xxx) at any speed or tandem angular contact thrust bearings (bearing number 7xxx) on large 3600 or 3000 RPM (2-pole) motors have preload springs which maintain a minimum thrust load at all times to prevent bearing skidding. These motors require a minimum external thrust load sufficient to compress the springs to properly seat the thrust bearing and to relieve the lower guide bearing of axial spring thrust. Refer to motor's minimum thrust nameplate for required thrust.

**▲ CAUTION**

*Do not run a motor which has bearing preload springs without thrust load for more than fifteen (15) minutes as bearing damage may result.*

9. Initial Start.

After installation is completed, but before motor is put into regular service, make an initial start as follows:

- A. Ensure that motor and control device connections agree with wiring diagrams.
- B. Ensure that voltage, phase, and frequency of line circuit (power supply) agree with motor nameplate.
- C. Check insulation resistance according to Section III "STORAGE" item 3.
- D. Check all foundation, base, non-reverse ratchet (if applicable), and coupling bolts (if applicable) to ensure they are tight.
- E. If motor has been in storage, either before or after installation, refer to Section III "STORAGE" item 4 for preparations.
- F. Check oil lubricated units to be certain that bearing housings have been filled to between the "MAX" and "MIN" levels on the sight gauge windows with the correct lubricant. Refer to Section IX "LUBRICATION" for proper oils.
- G. Check for proper or desired rotation. See item 7 of this section for details.
- H. Ensure that all protective devices are connected and operating properly, and that all outlet accessory, and access covers have been returned to their original intended position.
- I. Start motor at lowest possible load and monitor to be sure that no unusual condition develops.

**▲ WARNING**

*All loosened or removed parts must be reassembled and tightened to original specifications. Keep all tools, chains, equipment, etc. clear of unit before energizing motor.*

- J. When checks are satisfactory to this point, increase load slowly up to rated load and monitor unit for satisfactory operation.





## VI. NORMAL OPERATION

Start the motor in accordance with standard instructions for the starting equipment used.

### 1. General Maintenance.

Regular, routine maintenance is the best assurance of trouble-free, long-life motor operation. It prevents costly shutdown and repairs. Major elements of a controlled maintenance program are:

- A. Trained personnel who have a working knowledge of rotational equipment and have read this manual.
- B. Systematic records which contain at least the following:
  - 1. Complete nameplate data.
  - 2. Prints (wiring diagrams, certified outline dimensions).
  - 3. Alignment data.
  - 4. Results of regular inspection, including vibration and bearing temperature data, as applicable.
  - 5. Documentation of any repairs.
  - 6. Lubrication data:
    - Method of application
    - Types of lubricants for wet, dry, hot, or adverse locations
    - Maintenance cycle by location (some require more frequent lubrication)

### 2. Inspection and Cleaning

Stop the motor before cleaning. **CAUTION: Assure against accidental starting of the motor.** Clean the motor inside and out regularly. The frequency of cleaning depends upon actual conditions existing around the motor. Use the following procedures as they apply:

- A. Wipe off dirt, dust, oil, water, or other liquids from external surfaces of motor. These materials can work into or be carried into the motor windings and may cause overheating or insulation breakdown.
- B. Remove dirt, dust, or debris from ventilating air inlets. Never allow dirt to accumulate near air inlets. Never operate motor with air passages blocked.
- C. Clean motors internally by blowing with clean, dry, compressed air at 40 to 60 PSI. If conditions warrant, use a vacuum cleaner.

#### **▲ CAUTION**

***When using compressed air, always use proper eye protection to prevent accidental eye injury.***

- D. When dirt and dust are solidly packed, or windings are coated with oil or greasy grime, disassemble the motor and clean with solvent. Use only high-flash naphtha, mineral spirits, or Stoddard solvent. Wipe with solvent dampened cloth, or use suitable soft bristled brush. **DO NOT SOAK.** Oven dry (150 – 175°F) solvent cleaned windings thoroughly before reassembly.
- E. After cleaning and drying the windings, check the insulation resistance per Section III, Item 3.





**VII. NON-REVERSE RATCHET**

Units featuring non-reverse ratchets are refine-balanced by attaching weights to the rotating ratchet. If the ratchet is removed it should be marked and reassembled in the same position to retain proper balance.

**VIII. ENDPLAY ADJUSTMENT**

The term *endplay* is defined as the total axial float of the rotor. Should the motor be disassembled for any reason, the rotor endplay must be adjusted. Care must be taken to ensure that end play is within the proper range. Use one of the following procedures, depending upon the type of thrust bearing to set end play:

**▲ CAUTION**

***Excessive endplay can allow the thrust bearing to separate when units are run with zero thrust or momentary up thrust, resulting in thrust bearing failure. Insufficient endplay may cause the bearings to load against each other, resulting in extreme heat and rapid failure of both the guide and thrust bearings.***

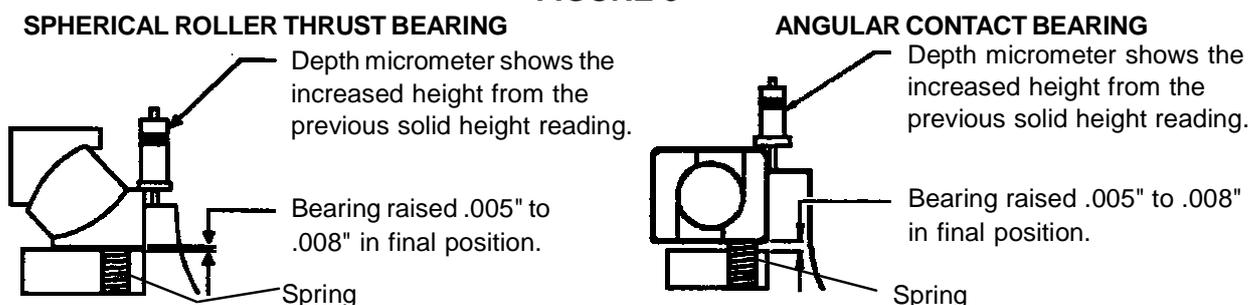
1. Spherical Roller Thrust Bearings and Angular Contact Bearings (With Springs).

Setting the correct end play on units with spring-preloaded spherical roller or angular contact thrust bearings requires a controlled assembly method, due to various deflections internal to the motor and friction of locknut threads from spring force. An end play setting of .005 to .008 inches is required to allow the lower guide bearing to return to an unloaded position when external thrust is applied to the motor (see Figure 5). End play can be properly adjusted by the following recommended procedure:

- A. Place spring retainer (without springs) and lower thrust washer of bearing into upper bearing bore.
- B. Using a depth micrometer, measure the distance between the top of the lower thrust washer and the faced surface on top of the bearing housing (see Figure 5). Record dimension to three decimals.
- C. Add .005 to .008 inches to the recorded dimension to obtain the correct endplay range for the unit.
- D. Reassemble bearing with springs. Motor is now ready to set end play. Several acceptable methods for setting endplay are following.

NOTE: Certain motor builds require removal of the fabricated steel or cast aluminum oil baffle to provide access for depth micrometer measurements.

**FIGURE 5**





2. Angular Contact Ball Bearings (Without Springs)

- A. No preliminary measurements are required to set end play. End play may be set by any of the following methods described in this section.
- B. To correctly adjust the endplay setting, a dial indicator should be positioned to read the shaft axial movement. (See figure 7 for location of dial indicator). The rotor adjusting lock nut should be turned until no further upward movement of the shaft is indicated. The locknut is then loosened until .005 to .008" endplay is obtained. Lock the locknut with lock washer.

**▲ CAUTION**  
*Care should be taken to ensure that the locknut is not over-tightened, as this can lead to an erroneous end play setting (due to deflection of parts) and bearing damage may result.*

- C. Motors that have two opposed angular contact bearings that are locked for up and downthrust do not require endplay adjustment. The shaft, however, must be set to the original 'AH' (shaft extension length) to prevent the guide bearing from taking thrust.

**ENDPLAY ADJUSTMENT METHODS**

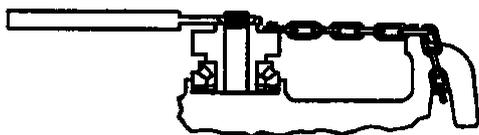
1. Method 1 (refer to Figures 6 & 7)

This method requires the user to install a bolted chain from the bearing mount back to a lifting lug. Rotate the locknut with a spanner wrench (and bar extension) until dial indicator shows no movement on end of shaft. The locknut should then be loosened until proper endplay is obtained, lock the locknut with lock washer. (See figure 7 for location of dial indicator.)

NOTE: This is the lowest cost of the three methods and requires the least amount of equipment. This method, however, may be less desirable than Method 2 as considerable locknut torque may be encountered on units with bearing preload springs.

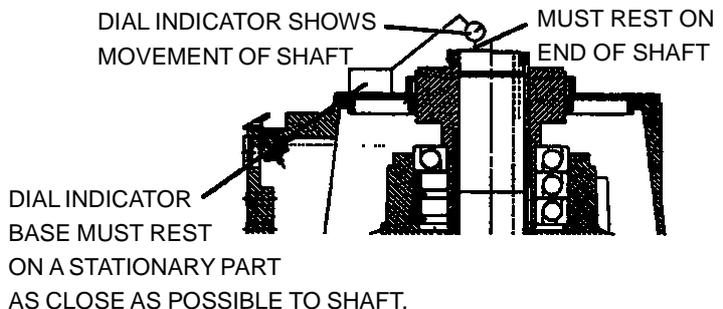
- Special equipment required:
- Locking bolts
  - Dial indicator
  - 3/4" chain
  - Depth micrometer
  - Spanner wrench with extension

**FIGURE 6 (METHOD 1)**



MOUNTING SPRINGS ARE COMPRESSED AND ROTOR IS LIFTED BY LOCKNUT

**FIGURE 7 (METHOD 1 & 3)**





2. Method 2 (refer to Figure 8 - Utilized on Spring Loaded Bearings Only)

This method utilizes a spreader bar and chains to wrap around lifting lugs, a hydraulic jack (five ton), and crane to lift the spreader bar. The hydraulic jack is supported by two steel blocks of equal thickness on top of the bearing mounting with the jack pushing against the spreader bar. On large motors, the rotor can be lifted by placing a second jack below the motor shaft to allow the locknut to be turned easily.

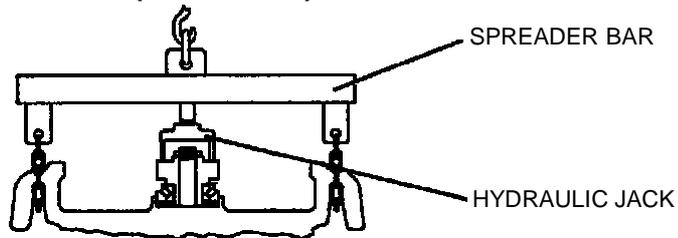
**NOTE:** This method utilizes typical shop equipment and tools. Endplay settings can be checked quickly on larger vertical motor products. The locknut lifts rotor weight only.

Equipment required:

- Large spreader bar with chains and locking bolts
- Overhead crane
- Metal blocks
- Depth micrometer
- 5-ton hydraulic jack
- Spanner wrench
- Dial indicator

**FIGURE 8 (METHOD 2)**

MOUNTING SPRINGS ARE COMPRESSED – ONLY THE ROTOR IS LIFTED BY THE LOCKNUT.



3. Method 3 (refer to Figure 9)

This method uses a one inch thick steel disc with a center hole for the shaft end bolt and two threaded hydraulic jacks connected to a single pump. Apply load to hydraulic jacks until dial indicator shows no movement on end of shaft. (See figure 7 for location of dial indicator). The shaft locknut should be positioned and the pressure from hydraulic jack relieved until proper endplay is obtained.

**▲ CAUTION**

*Use of excessive hydraulic pressure can damage bearings.*

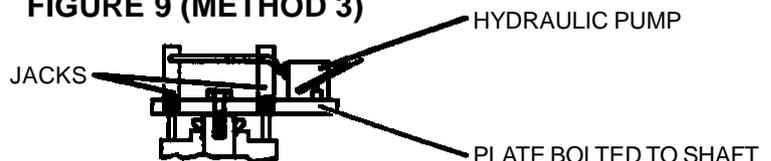
**NOTE:** This method is directly usable on solid shaft motors and can be used on most HOLLOWSHAFT motors with the use of a long threaded rod and plate. It is easy to apply and settings can be checked quickly, especially in field service. The locknut does not see any force and can be turned easily.

Equipment required:

- Fixture with hydraulic jacks
- Dial indicator
- Spanner wrench

MOUNTING SPRINGS ARE COMPRESSED AND ROTOR IS LIFTED BY THE FIXTURE. THE LOCKNUT IS TURNED FOR ADJUSTMENT.

**FIGURE 9 (METHOD 3)**



**▲ CAUTION**

*After setting endplay, run unit for three to five minutes, then stop and verify the endplay setting. Readjust as necessary. All loosened or removed parts must be reassembled and tightened to original specifications. Keep all tools, chains, equipment, etc. clear of unit before energizing motor.*





**IX. LUBRICATION**

Motor must be at rest and electrical controls should be locked open to prevent energizing while being serviced. If motor is being taken out of storage refer to Section III “**STORAGE**”, item 4 for instructions.

1. Oil Lubricated Bearings.

Change oil once per year with normal service conditions. Frequent starting and stopping, damp or dusty environment, extreme temperature, or any other severe service conditions will warrant more frequent oil changes. If there is any question, consult U.S. Electrical Motors Product Service Department for recommended oil change intervals regarding your particular situation.

Determine required oil ISO Viscosity Grade (VG) and base oil type from Table 3, then see Table 4 for approved oils. Add oil into oil fill hole at each bearing housing until the oil level reaches between minimum and maximum marks located on the sight gauge window. It is important to wipe excess oil from the threads of the drain hole and to coat the plug threads with Gasoila P/N SS08, manufactured by Federal Process Corporation or equivalent thread sealant before replacing the drain plug. Plug should be tightened to a minimum of 20 lb.-ft. using a torque wrench. See the motor nameplate or Table 5 for the approximate quantity of oil required.

2. Grease Lubricated Bearings.

A. Relubrication of Units in Service

Grease lubricated bearings are pre-lubricated at the factory and normally do not require initial lubrication. Relubricating interval depends upon speed, type of bearing and service. Refer to Table 1 for suggested regreasing intervals and quantities. Note that operating environment and application may dictate more frequent lubrication.

To relubricate bearings, remove the drain plug. Inspect grease drain and remove any blockage (caked grease or foreign particles) with a mechanical probe, taking care not to damage bearing.

**▲ WARNING**

***Under NO circumstances should a mechanical probe be used while the motor is in operation.***

Add new grease at the grease inlet. New grease must be compatible with the grease already in the motor (refer to table 2 for compatible greases).

**▲ CAUTION**

***Greases of different bases (lithium, polyurea, clay, etc.) may not be compatible when mixed. Mixing such greases can result in reduced lubricant life and premature bearing failure. Prevent such inter-mixing by disassembling motor, removing all old grease and repacking with new grease per item B of this section. Refer to Table 2 for recommended greases.***

Run the motor for 15 to 30 minutes with the drain plug removed to allow purging of any excess grease. Shut off unit and replace the drain plug. Return motor to service.

**▲ CAUTION**

***Overgreasing can cause excessive bearing temperatures, premature lubricant breakdown and bearing failure. Care should be exercised against overgreasing.***





**B. Change of Lubricant**

Motor must be disassembled as necessary to gain full access to bearing housing(s).

Remove all old grease from bearings and housings (including all grease fill and drain holes). Inspect and replace damaged bearings. Fill bearing housings both inboard and outboard of bearing approximately 30 percent full of new grease. Grease fill ports must be completely charged with new grease. Inject new grease into bearing between rolling elements to fill bearing. Remove excess grease extending beyond the edges of the bearing races and retainers.

**Table 1  
Recommended Grease Replenishment Quantities & Lubrication Intervals**

Bearing Number		Grease Replenishment Quantity (Fl. Oz.)	Lubrication Interval		
62xx, 72xx	63xx, 73xx		1801 thru 3600 RPM	1201 thru 1800 RPM	1200 RPM and slower
03 thru 07	03 thru 06	0.2	1 Year	2 Years	2 Years
08 thru 12	07 thru 09	0.4	6 Months	1 Year	1 Year
13 thru 15	10 thru 11	0.6	6 Months	1 Year	1 Year
16 thru 20	12 thru 15	1.0	3 Months	6 Months	6 Months
21 thru 28	16 thru 20	1.8	3 Months	6 Months	6 Months

Refer to motor nameplate for bearings provided on a specific motor.

For bearings not listed in Table 1, the amount of grease required may be calculated by the formula:

$$G = 0.11 \times D \times B$$

Where: G = Quantity of grease in fluid ounces.  
D = Outside diameter of bearing in inches.  
B = Width of bearing in inches.

**Table 2  
Recommended Greases**

Motor Frame Size	Motor Enclosure	Grease Manufacturer	Grease (NLGI Grade 2)
All Thru 447	All	US Electrical Motors Chevron USA, Inc. Exxon Co. USA	Grease No. 83343 SRI No. 2 Polyrex-EM
449 and Up	Open Dripproof		
449 and Up	TEFC and Explosionproof	US Electrical Motors Mobil Oil Co.	Grease No. 974420 Mobilith SHC-100

The above greases are interchangeable with the grease provided in units supplied from the factory (unless stated otherwise on motor lubrication nameplate).





**Table 3  
US Motors Recommended Oil Viscosities**

Angular Contact Thrust Bearing (72XX or 73XX Series)						
Motor Enclosure	Frame Size	Speed (RPM)	Ambient Temperature	ISO VG	Base Oil Type	
Open Dripproof or Weather Protected	324 and Larger	All	Up thru 40C (104F)	32	Mineral or Synthetic	
			41C thru 50C (105-122F)	68	Synthetic Only	
404 thru 447	Up thru 40C (104F)		32	Mineral or Synthetic		
	41C thru 50C (105-122F)		68	Synthetic Only		
Totally Enclosed or Explosionproof	449 thru 5811		1801 - 3600	Up thru 40C (104F)	32	Synthetic Only
			1800 & Below		68	Synthetic Only
		All	41C thru 50C (105-122F)	Refer to Office		
Spherical Roller Thrust Bearing (29XXX Series)						
Motor Enclosure	Frame Size	Speed (RPM)	Ambient Temperature	ISO VG	Base Oil Type	
Open Dripproof or Weather Protected	444 and Larger	1800 and Below	-15C thru 5C (5-41F)	68	Mineral or Synthetic	
			6C thru 40C (42-104F)	150		
			41C thru 50C (105-122F)		150	Synthetic Only
Totally Enclosed or Explosionproof	449 and Larger		-15C thru 5C (5-41F)	68	Mineral or Synthetic	
			6C thru 40C (42-104F)	150	Synthetic Only	
			41C thru 50C (105-122F)	Refer to Office		

**Notes:**

- 1.If lower guide bearing is oil lubricated, it should use the same oil as the thrust bearing.
- 2.If lower guide bearing is grease-lubricated, refer to TABLE 2 for recommended greases.
- 3.Refer to US Electrical Motors for ambient temperatures other than those listed.

**Table 4  
US Motors Approved Oil Specifications For Use With Anti-Friction Bearings**

Oil Manufacturer	ISO VG 32		ISO VG 68		ISO VG 150	
	Viscosity: 130-165 SSU @ 100F		Viscosity: 284-347 SSU @ 100F		Viscosity: 620-765 SSU @ 100F	
	Mineral Base Oil	Synthetic Base Oil	Mineral Base Oil	Synthetic Base Oil	Mineral Base Oil	Synthetic Base Oil
Chevron USA, Inc	GST Turbine Oil 32	Tegra 32	GST Turbine Oil 68	Tegra 68	R&O Machine Oil 150	Tegra 150
Conoco Oil Co.	Hydroclear Turbine Oil 32	Syncon 32	Hydroclear Turbine Oil 68	Syncon 68	Hydroclear AW Hyd. Fluid 150	N/A
Exxon Co., USA	Teresstic 32	Synnestic 32	Teresstic 68	Synnestic 68	Teresstic 150	Synnestic 150
Mobil Oil Co.	DTE Oil Light	SHC 624	DTE Oil Heavy Medium	SHC 626	DTE Oil Extra Heavy	SHC 629
Pennzoil Co., Inc	Pennbell TO 32	Pennbell SHD 32	Pennbell TO 68	Pennbell SHD 68	Pennbell TO 150	Pennbell SHD 150
Phillips Petroleum Co.	Magnus 32	Syndustrial "E" 32	Magnus 68	Syndustrial "E" 68	Magnus 150	N/A
Shell Oil Co.	Tellus 32	Tellus HD Oil AW SHF 32	Tellus 68	Tellus HD Oil AW SHF 68	Tellus 150	N/A
Texaco Lubricants Co.	Regal 32	Cetus PAO 32	Regal 68	Cetus PAO 68	Regal 150	N/A





**Table 5  
Approximate Oil Sump Capacities**

Frame Size	Motor Type Designation (See Motor Nameplate)	Oil Capacity (Quarts)	
		Upper Bearing	Lower Bearing
180 - 280	AU, AV-4	Grease	Grease
180 - 280	AV		
320 - 440	RV		
320 - 360	RV-4, RU	3	
400	RV-4, RU	5	
440	RV-4 (2 pole)	17	
	RV-4, RU (4 pole & slower, w/ ang contact thrust brg.)	6	
	(4 pole & slower, w/ spherical thrust brg.)	4	
180 - 440	TV-9, TV, LV-9, LV	Grease	
180 - 360	TV-4, TU, LV-4, LU		
400	TV-4, TU, LV-4, LU	6	
440	TV-4, TU, LV-4, LU	5	
449	JU, JV-4, HU, HV-4	22	
	JV-3, JV, HV	Grease	
5000	HV, EV, JV	Grease	
	HU, HV-4 (4 pole & slower)	12	
	HV-4 (2 pole only)	20	
	EU, JU, EV-4, JV-4	22	5
5800	HU, HV-4	24	3
	EU, JU, EV-4, JV-4	37	4
6800	HU, HV-4	70	3
	HV	Grease	Grease
8000	RU, RV-4	70	6
	RV	Grease	Grease
9600	RU, RV-4	64	13
	RV	Grease	Grease





**X. FUNDAMENTAL TROUBLESHOOTING - PROBLEM ANALYSIS**

This chart can reduce work and time spent on motor analysis. Always check the chart first before starting motor disassembly, as what appears to be a motor problem may often be located elsewhere. For additional information, consult our website at [www.usmotors.com](http://www.usmotors.com).

<b>SYMPTOM</b>	<b>PROBABLE CAUSE</b>	<b>ANALYSIS</b>
Motor fails to start	Defective power supply	Check voltage across all phases above disconnect switch.
	Blown or defective primary fuses	
	Blown or defective secondary fuses	Check voltage below fuses (all phases) with disconnect closed.
	Open control circuit	Push reset button.
	Overload trips are open	
	Defective holding coil in magnetic switch	Push start button and allow sufficient time for operation of time delay, if used, then check voltage across magnetic holding coil. If correct voltage is measured, coil is defective. If no voltage is measured, control circuit is open.
	Loose or poor connections in control circuits.	Make visual inspection of all connections in control switch.
	Magnetic switch closes	Open manual disconnect switch, close magnetic by hand, and examine contractors and springs.
	Poor switch contact	
	Open circuit in control panel	Check voltage at T1, T2, & T3
Open circuit in leads to motor	Check voltage at leads in outlet box	
Leads improperly connected	Check lead numbers and connections.	
Motor fails to come up to speed	Low or incorrect voltage	Check voltage at T1, T2, & T3 in control panel and at motor leads in outlet box.
	Incorrect connection at motor	Check for proper lead connections at motor and compare with connection diagram on motor.
	Overload - mechanical	Check impeller setting. Check for a tight or locked shaft.
	Overload - hydraulic	Check impeller setting. Check GPM against pump capacity and head.
Motor Vibrates	Headshaft misaligned	Remove top drive coupling and check alignment of motor to pump.
	Worn line shaft bearings or bent line shaft	Disconnect motor from pump and run motor only to determine source of vibration.
	Hydraulic disturbance in discharge piping	Check isolation joint in discharge piping near pump head.
	Ambient Vibration	Check base vibration level with motor stopped.
	System Natural Frequency (Resonance)	Revise rigidity of support structure.
Motor noisy	Worn thrust bearing	Remove dust cover, rotate rotor by hand, and make visual examination of balls and races. Bearing noise is commonly accompanied by a high frequency vibration and/or increased temp.
	Electrical noise	Most motors are electrically noisy during the starting period. This noise should diminish as motor reaches full speed.





# U.S. ELECTRICAL MOTORS INSTALLATION AND MAINTENANCE

## Troubleshooting

SYMPTOM	PROBABLE CAUSE	ANALYSIS
Motor overheating (Check with thermocouple or by resistance methods. Do not depend on hand.)	Overload	Measure load and compare to nameplate rating. Check for excessive friction in motor or in complete drive. Reduce load or replace motor with greater capacity motor. Refer to Appendix C.
	Motor intake or exhaust blocked or clogged.	Clean motor intake and exhaust areas. Clean filters or screens if motor is so equipped.
	Unbalanced voltage	Check voltage to all phases. Refer to Appendix A.
	Open stator windings	Disconnect motor from load. Check idle amps for balance in all three phases. Check stator resistance in all three phases.
	Over / Under Voltage	Check voltage and compare to nameplate voltage.
	Ground	Locate with test lamp or insulation tester and repair.
	Improper Connections.	Recheck connections.
Bearing Overheating	Misalignment	Check alignment.
	Incorrect oil, or oil level too high or too low.	Refill with proper oil. Verify oil level is correct.
	Excessive thrust.	Reduce thrust from driven machine.
	Bearing over-greased.	Relieve bearing cavity of grease to level specified in lubrication section.
	Motor overloaded	Measure load and compare to nameplate rating. Check for excessive friction in motor or in complete drive. Reduce load or replace motor with greater capacity motor. Refer to Appendix C.
	Motor intake or exhaust blocked or clogged.	Clean motor intake and exhaust areas. Clean filters or screens if motor is so equipped.
Bearing oil leaking around the drain plug.	Insufficient sealant applied to drain plug threads.	Remove drain plug and drain existing oil from sump. With a clean cloth, wipe excess oil from the plug threads and the threads in the drain hole. Apply Gasoila Thread Sealant P/N SS08 to the threads of the plug and replace. Fill sump with new oil to the proper level.





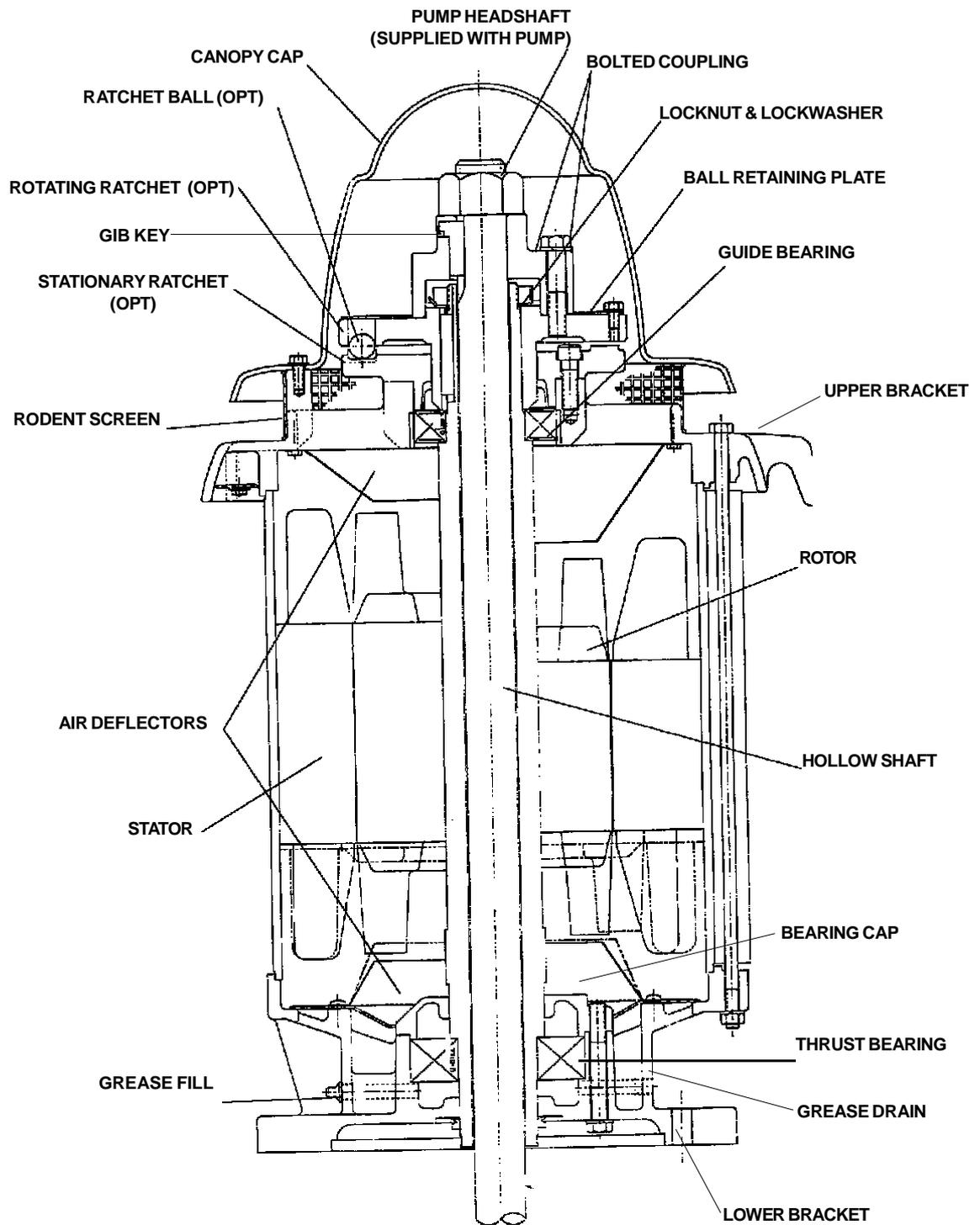
**XI. SPARE PARTS**

A parts list is available for your unit and will be furnished upon request. Parts may be obtained from local U.S. Electrical Motors distributors and authorized service shops, or through U.S. Electrical Motors distribution center.

U.S. ELECTRICAL MOTORS  
3363 Miac Cove Memphis,  
Tennessee 38118 (901) 366-  
4225

Drawings for many standard designs are supplied on the following pages. Most of the parts should be easy to identify. If however, there is some deviation from your machine, consult the factory for assistance.

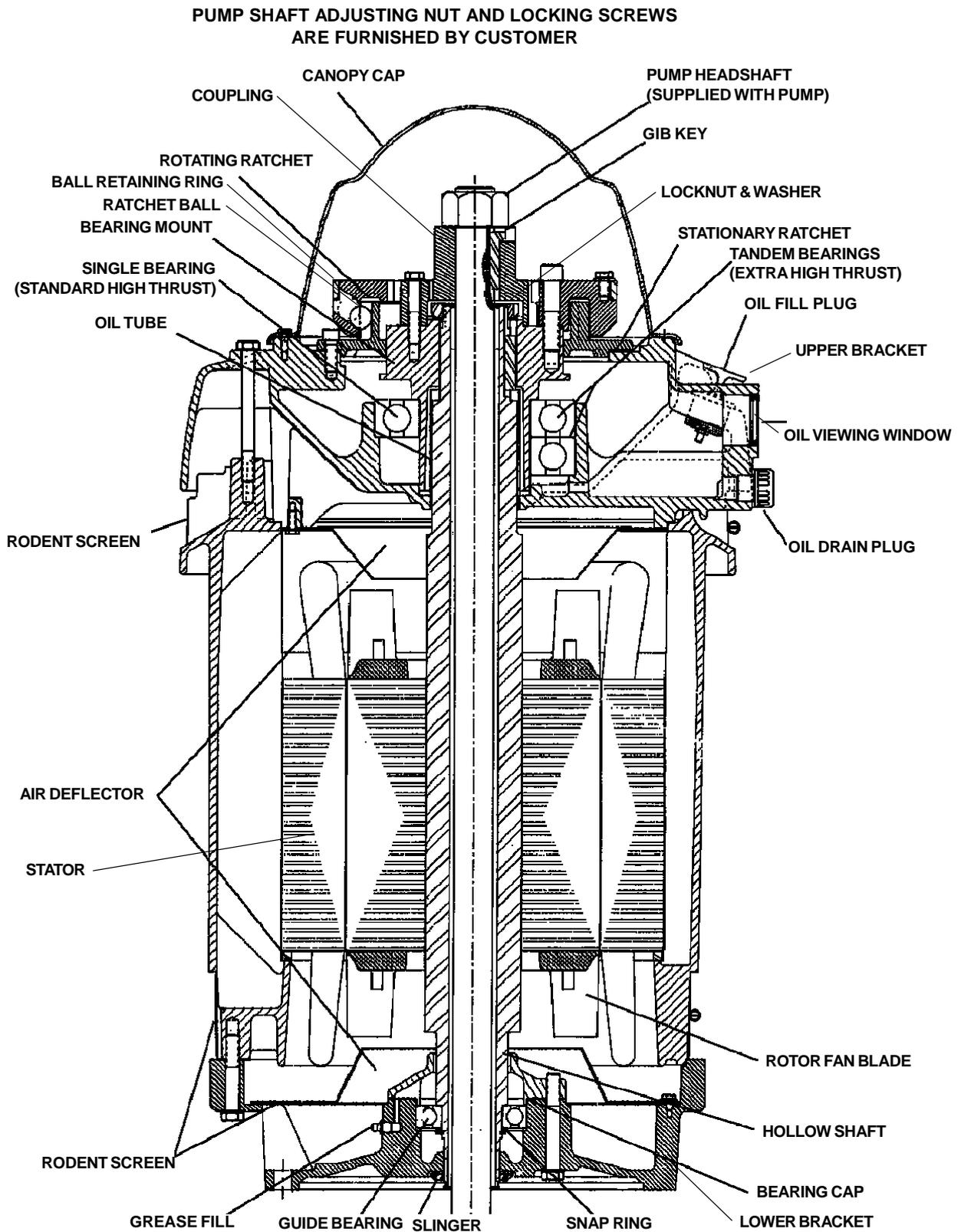






**U.S. ELECTRICAL MOTORS  
INSTALLATION AND MAINTENANCE**

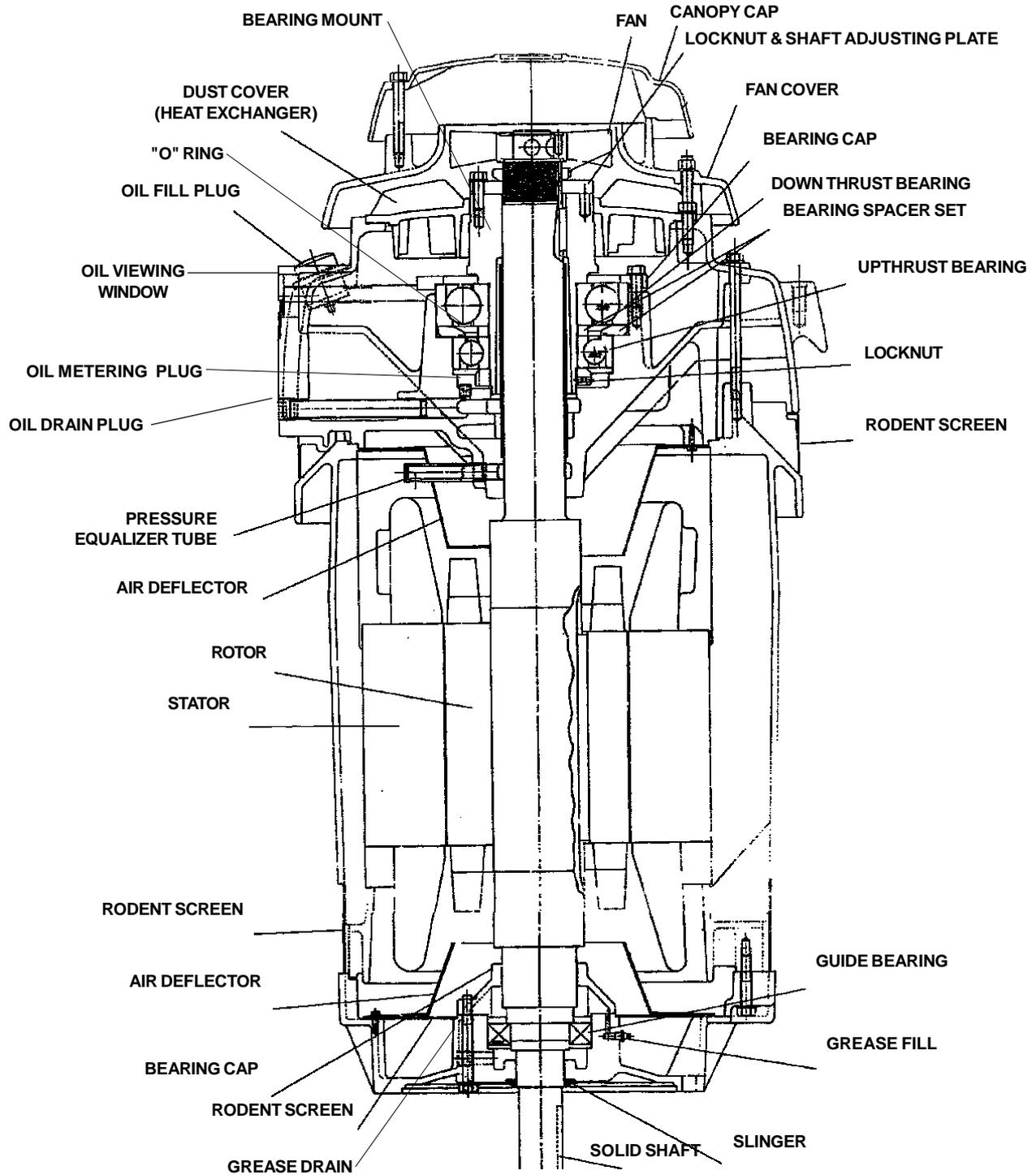
**Spare Parts  
320 Thru 440 Frame  
Type RU - High Thrust**





# U.S. ELECTRICAL MOTORS INSTALLATION AND MAINTENANCE

## Spare Parts 440 Frame, Type RV-4 (2 Pole)

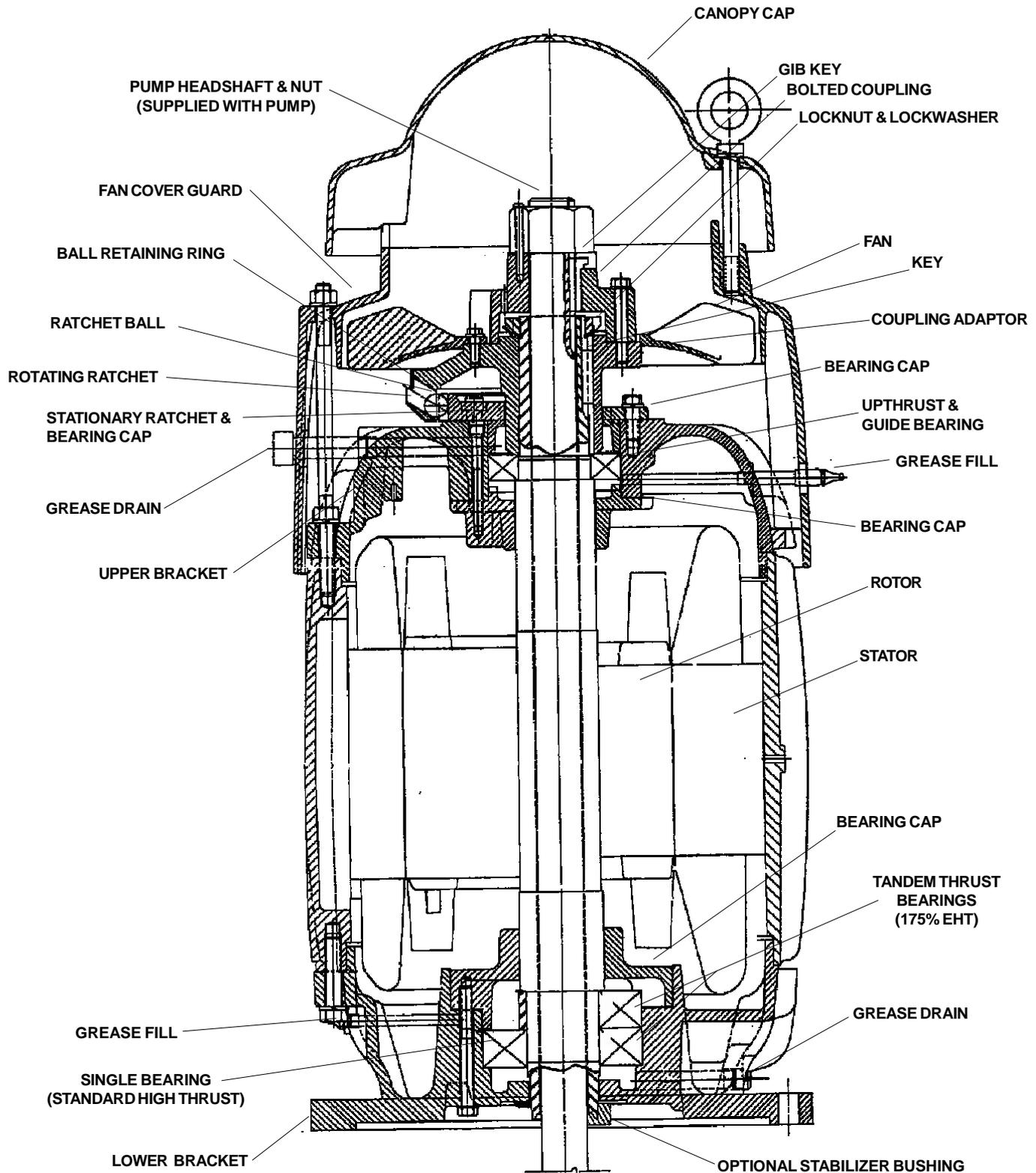




# U.S. ELECTRICAL MOTORS INSTALLATION AND MAINTENANCE

## Spare Parts

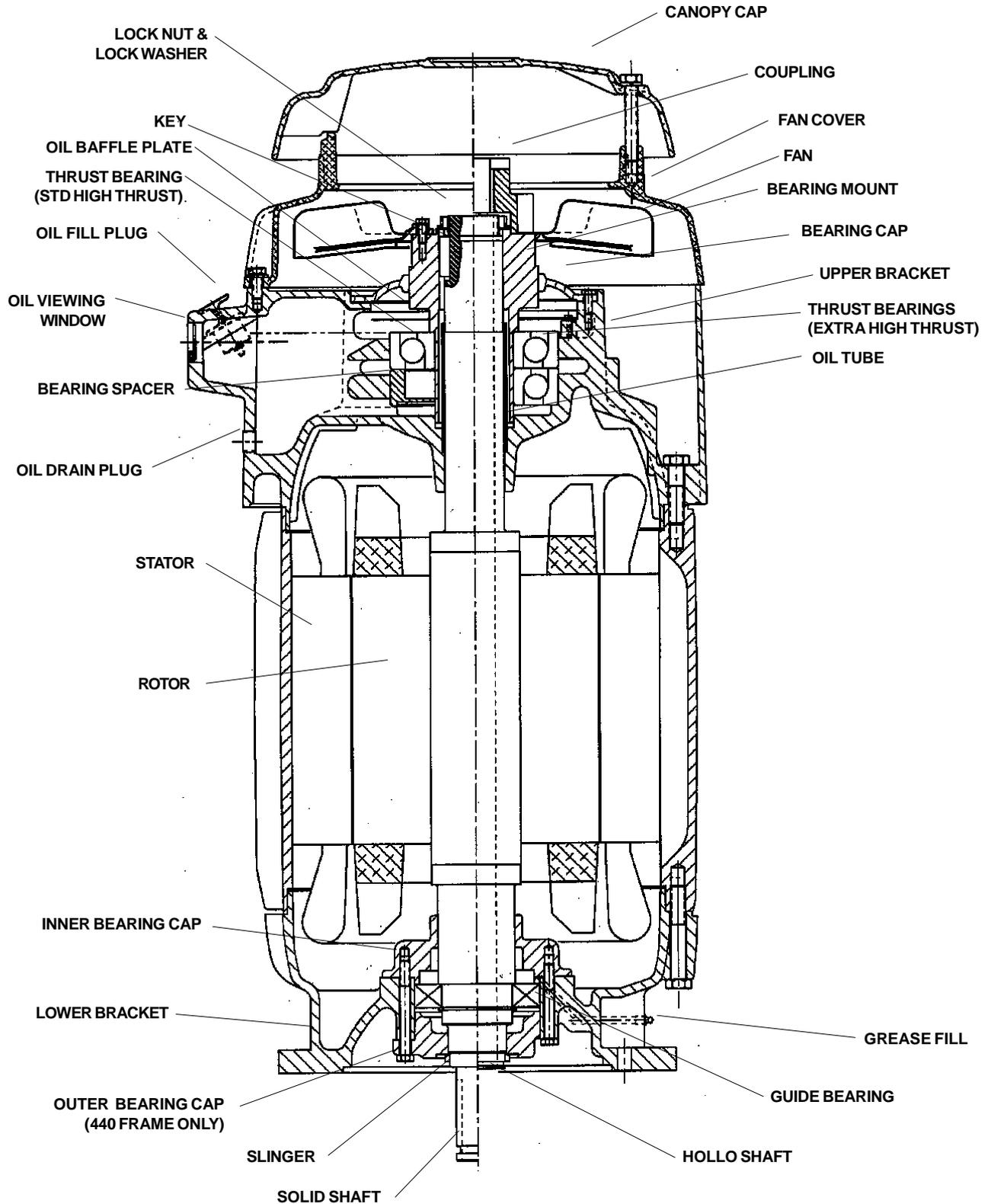
280, 320, 360 FRAMES, TYPE  
320, 360 FRAMES TYPE





**U.S. ELECTRICAL MOTORS  
INSTALLATION AND MAINTENANCE**

**Spare Parts**  
400 Thru 440 Frame  
Types TU, LU, TV-4 and LV-4  
High Thrust



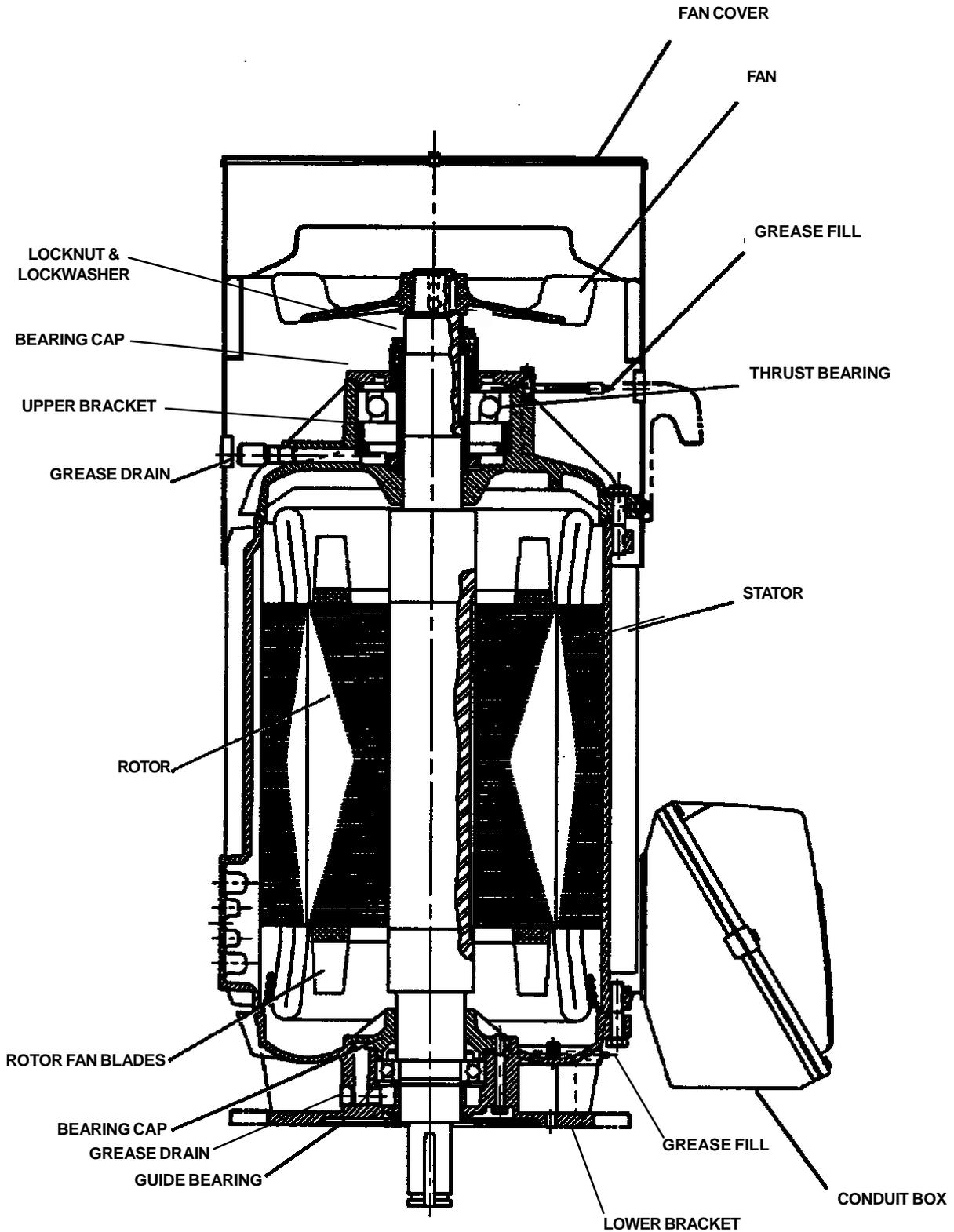
**U.S. ELECTRICAL MOTORS**  
DIVISION OF EMERSON ELECTRIC CO.





# U.S. ELECTRICAL MOTORS INSTALLATION AND MAINTENANCE

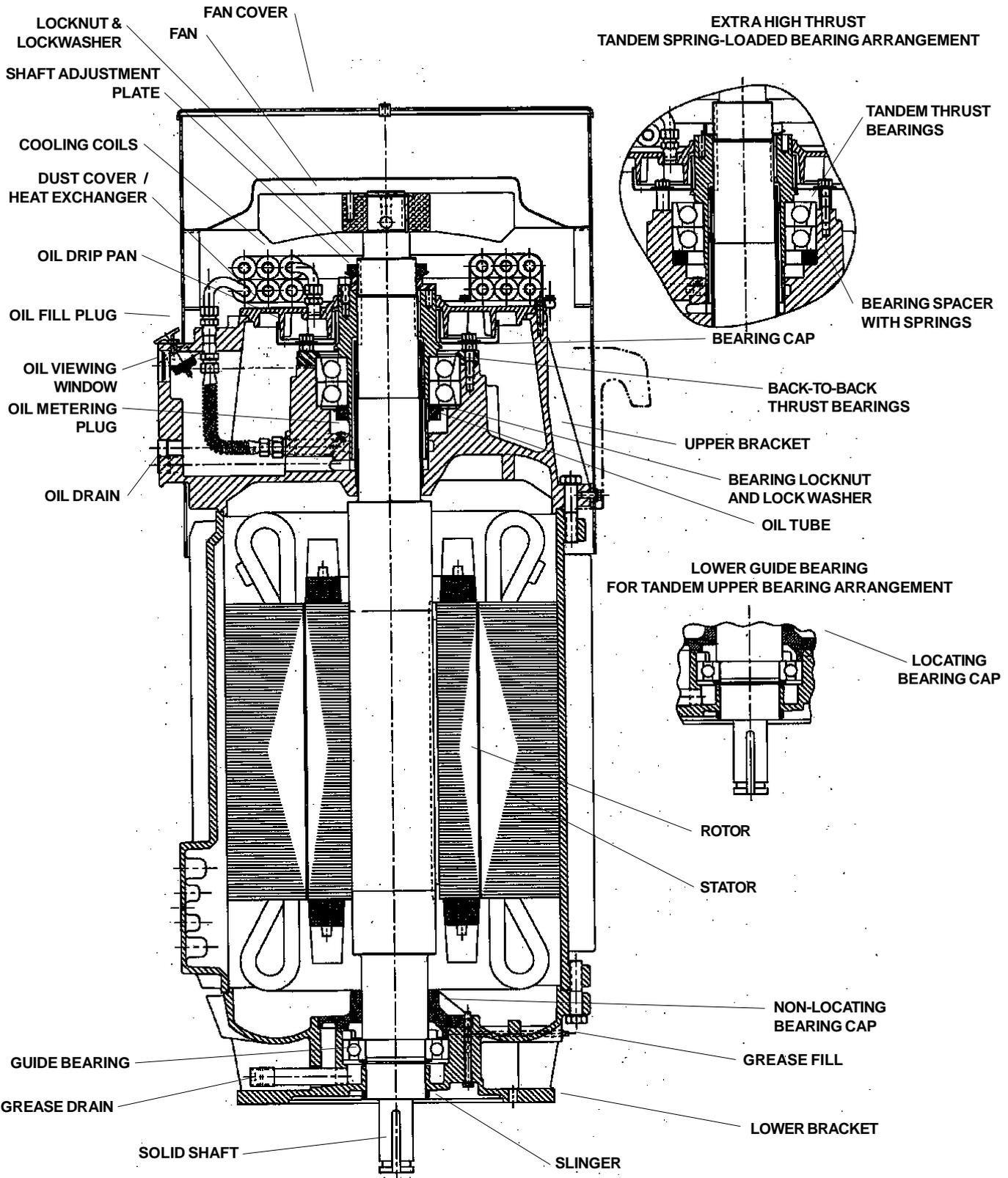
## Spare Parts 449 Frame Types JV & JV-3





**U.S. ELECTRICAL MOTORS  
INSTALLATION AND MAINTENANCE**

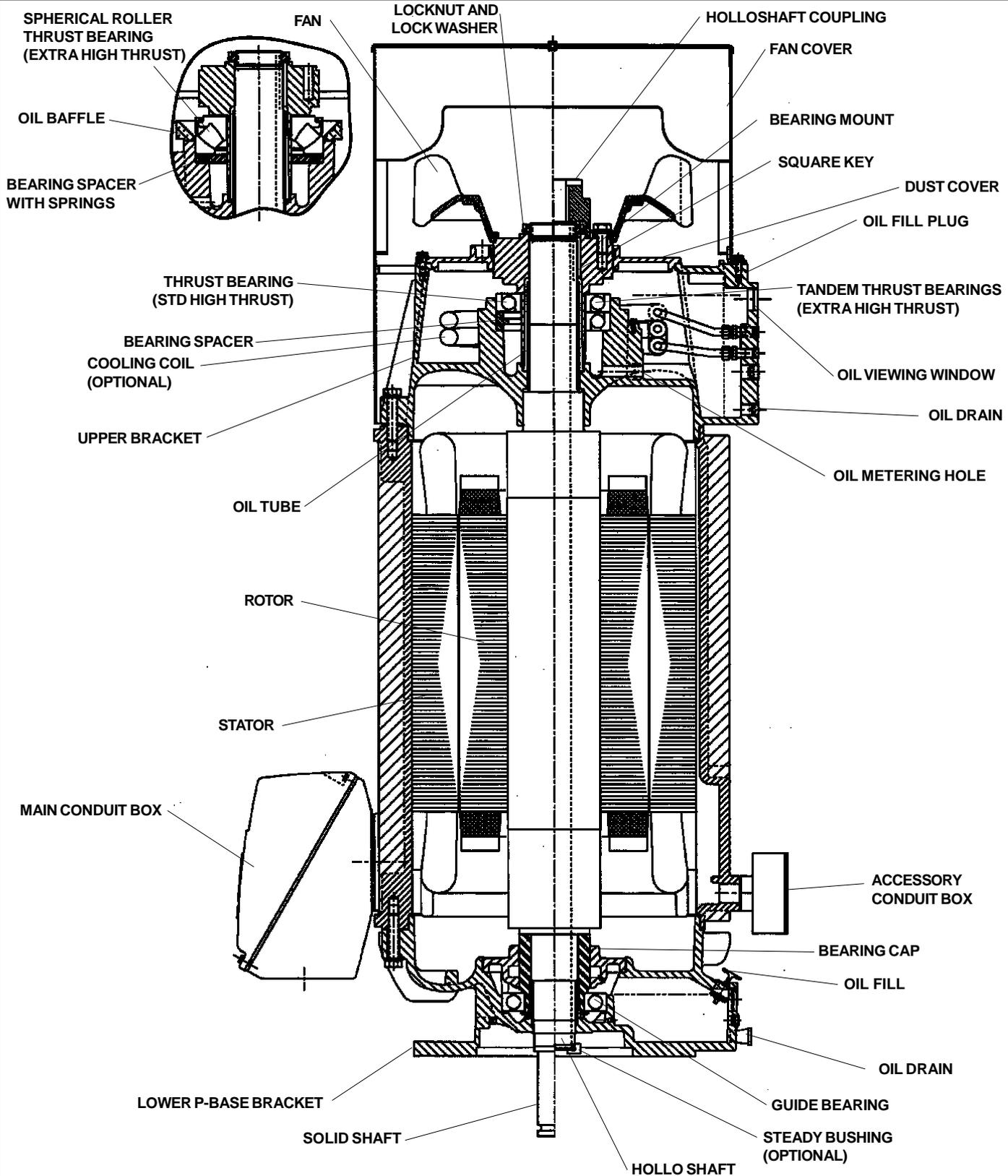
**Spare Parts  
449 Frame  
Type JV-4 (2 Pole)**





# U.S. ELECTRICAL MOTORS INSTALLATION AND MAINTENANCE

## Spare Parts 5800 Frame Types JU, JV-4, EU, EV-4 (4 Pole & Slower)

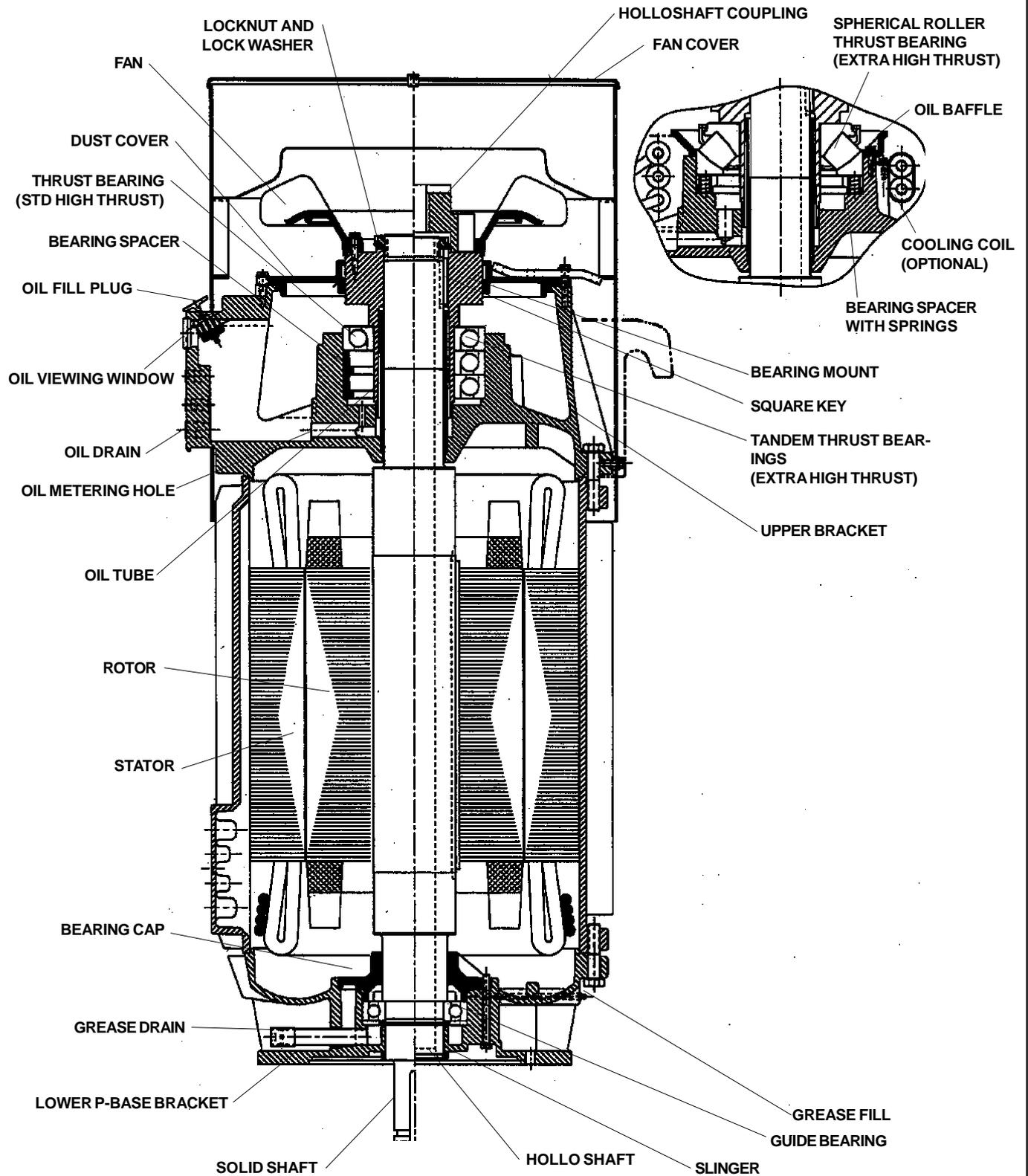




**U.S. ELECTRICAL MOTORS  
INSTALLATION AND MAINTENANCE**

**Spare Parts**

449 Frame  
Types JU and JV-4  
(4 Pole & Slower)



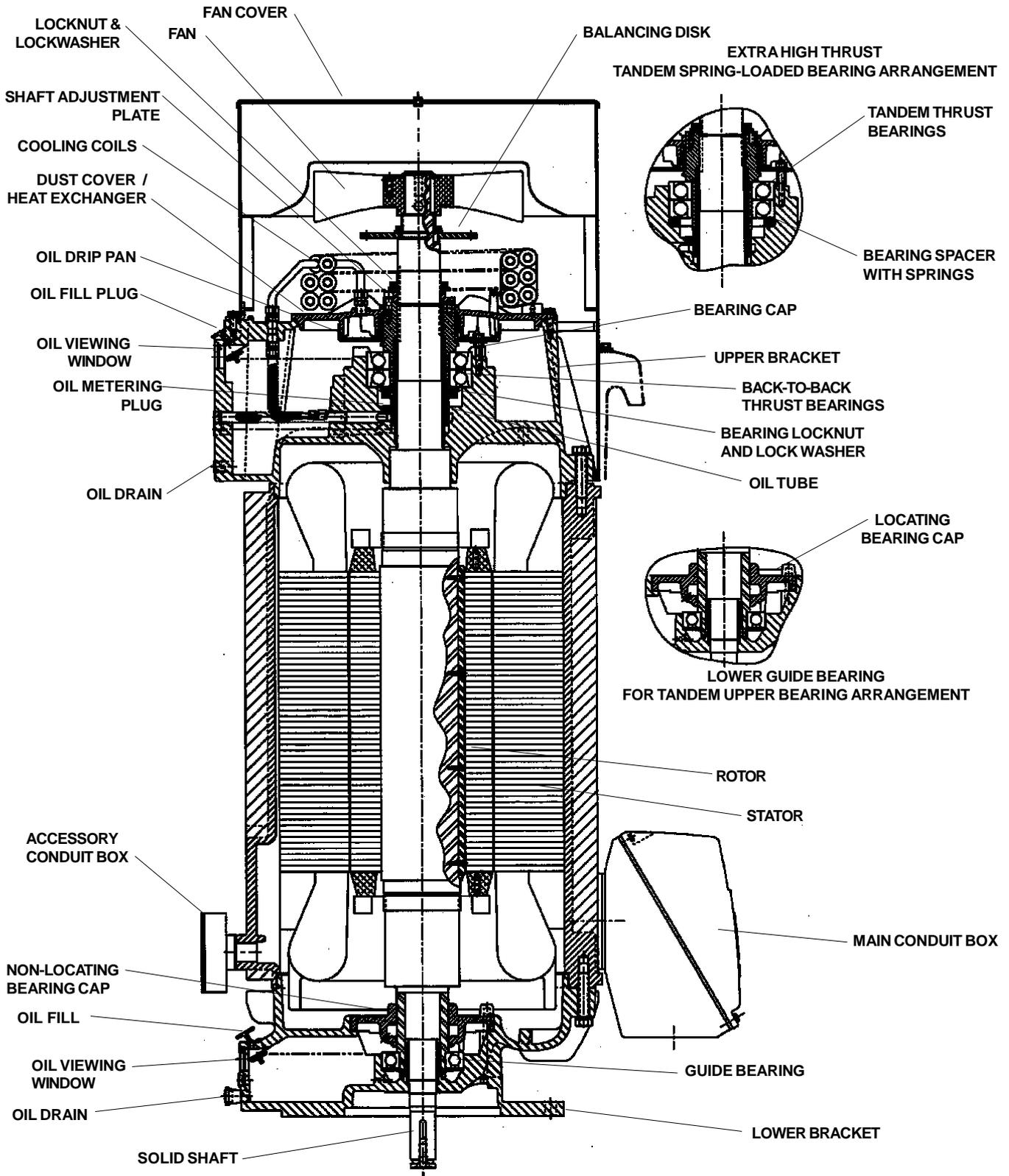
**U.S. ELECTRICAL MOTORS**  
DIVISION OF EMERSON ELECTRIC CO.





**U.S. ELECTRICAL MOTORS  
INSTALLATION AND MAINTENANCE**

**Spare Parts  
5800 Frame  
Type JV-4 & EV-4 (2 Pole)**



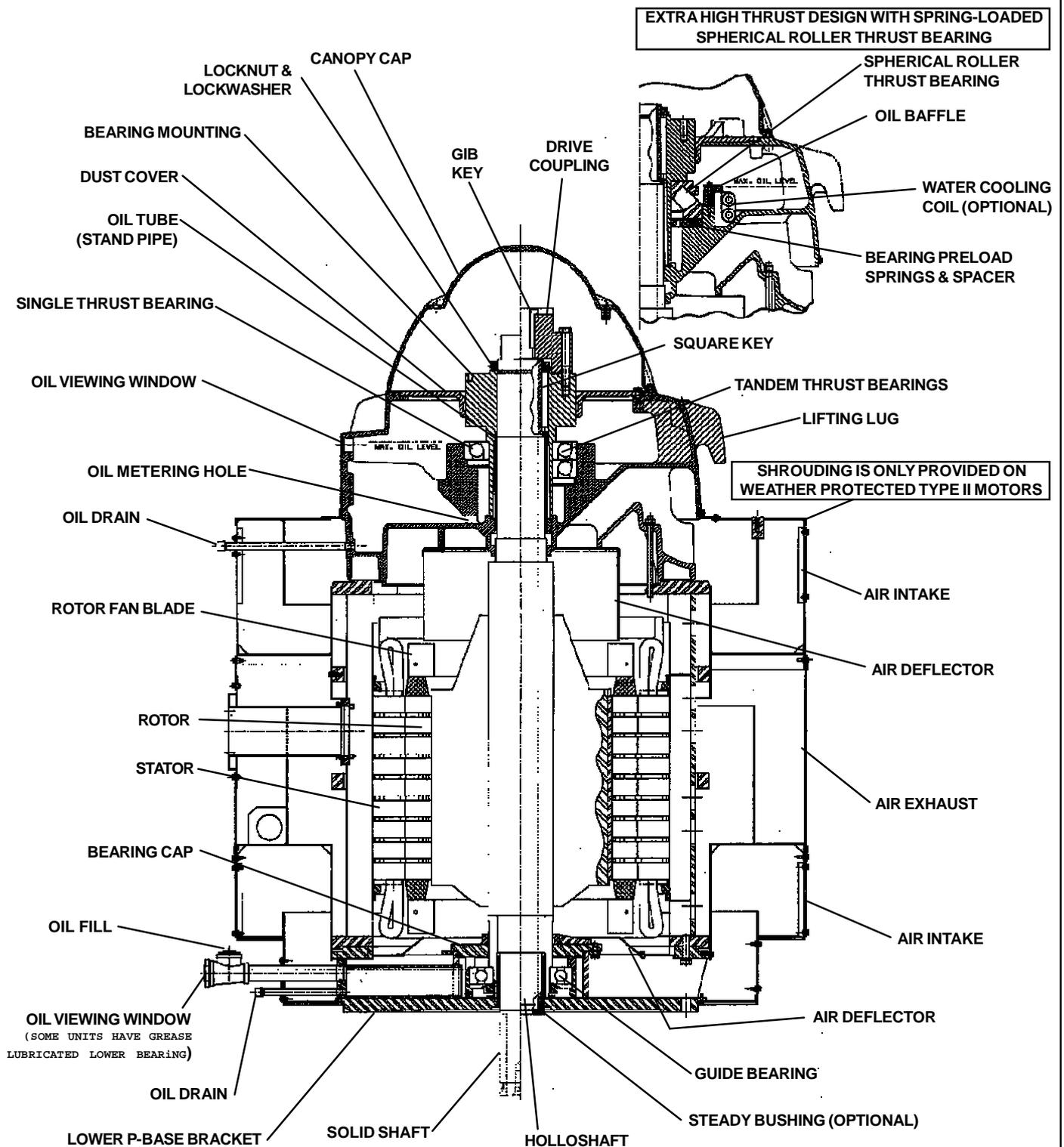


# U.S. ELECTRICAL MOTORS INSTALLATION AND MAINTENANCE

## Spare Parts

5000-6800 Frame, Types  
8000 Frame, Types  
RU&RV4 (4-Pole and

PUMP SHAFT, ADJUSTING NUT, AND LOCKING SCREWS  
ARE FURNISHED BY CUSTOMER



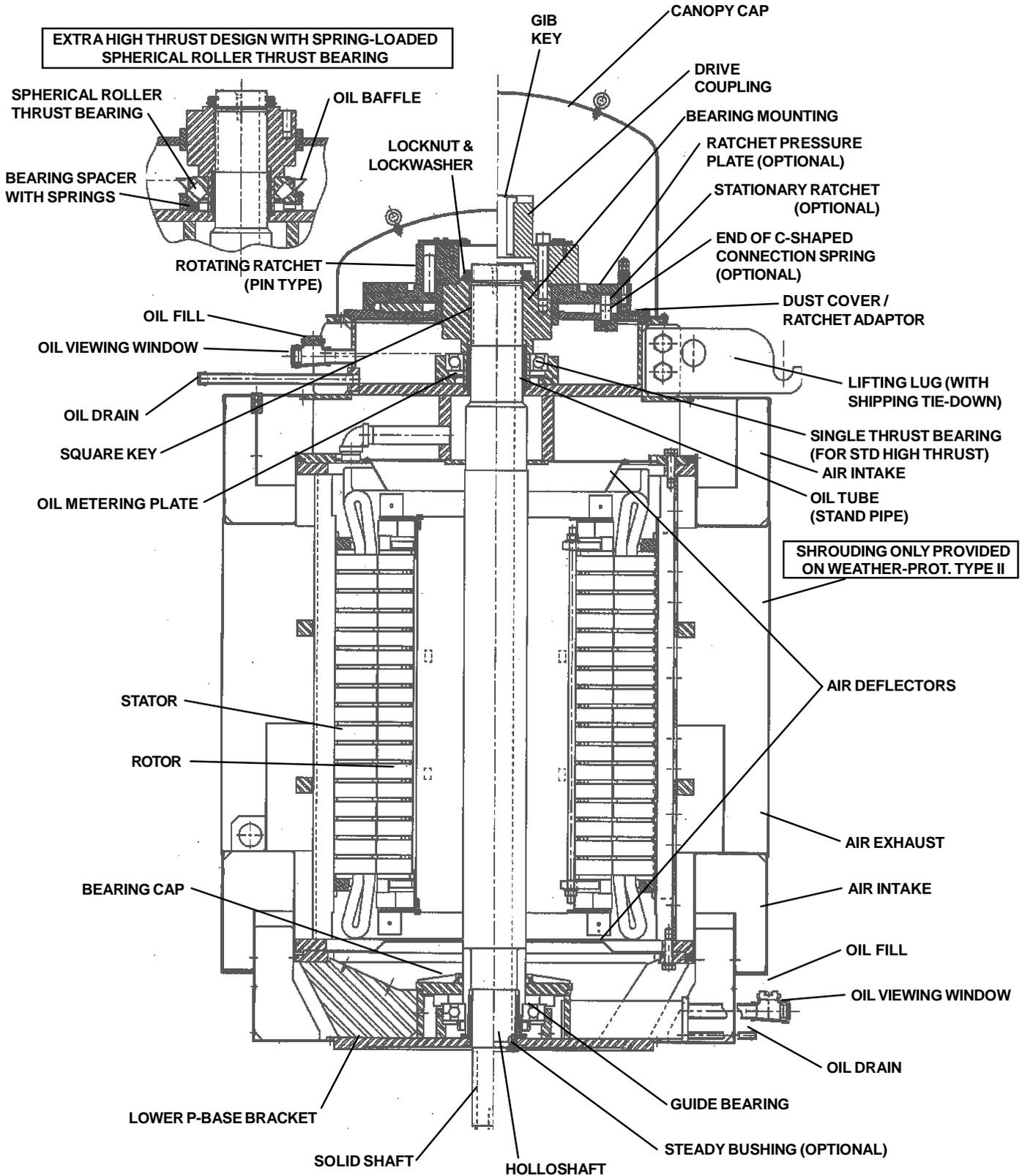
U.S. ELECTRICAL MOTORS  
DIVISION OF EMERSON ELECTRIC CO.





# U.S. ELECTRICAL MOTORS INSTALLATION AND MAINTENANCE

## Spare Parts 9600 Frame Types RU and RV-4





# U.S. ELECTRICAL MOTORS INSTALLATION AND MAINTENANCE

## Installation Record

### NAMEPLATE AND INSTALLATION INFORMATION

SERIAL NUMBER OR MODEL NUMBER .....

HORSEPOWER .....

MOTOR RPM .....

PHASE .....

FREQUENCY .....

AMPS ..... AT ..... VOLTS

DESIGN .....

FRAME .....

TYPE .....

DATE PURCHASED ..... P.O. NUMBER

DATE INSTALLED .....

LOCATION OF JOB SITE .....

MACHINE OR INSTALLATION NUMBER .....

PURCHASED FROM .....

MOTOR RESISTANCE LINE TO LINE AT TIME OF INSTALLATION .....

INSULATION TO GROUND READING AT TIME OF INSTALLATION .....

### RECORD OF MAINTENANCE

GRADE AND TYPE OF LUBRICANT USED .....

DATE OF LAST RELUBRICATION	INSULATION RESISTANCE		OVERHAUL OR REPAIR	
	DATE	MEGOHMS	DATE	ACTION





**Table 6  
Threaded Fastener Torque Requirements**

All threaded fasteners used for rigid joints (cast iron and low carbon steel) in products of U.S. Electrical Motors, are to be tightened to the torque values listed in the following tabulation. Values are based upon dry assembly.

Diameter of Fastener	Number of Threads Per Inch	Grade 5 Fasteners	Grade 2 Fasteners
#6	32	16 lb.-in.	10 lb.-in
	40	18	12
#8	32	30	19
	36	31	20
#10	24	43	27
	32	49	31
#12	24	66	37
	28	72	40
1/4"	20	96	66
	28	120	76
5/16"	18	16 lb.-ft.	11 lb.-ft.
	24	18	12
3/8"	16	29	20
	24	34	23
7/16"	14	46	30
	20	52	35
1/2"	13	70	50
	20	71	55
9/16"	12	102	
	18	117	
5/8"	11	140	
	18	165	
3/4"	10	249	
	16	284	
7/8"	9	401	
	14	446	
1"	8	601	
	14	666	
1-1/8"	7	742	
	12	860	
1-1/4"	7	1046	
	12	1196	
1-3/8"	6	1371	
	12	1611	
1-1/2"	6	1820	
	12	2110	

The above torque limits are not to be used when a drawing or specification lists a specific torque.



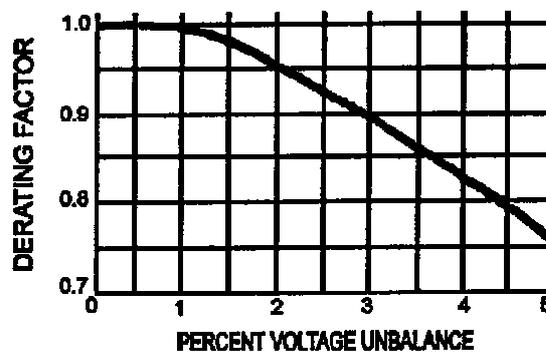


**Effects of Unbalanced Line Voltage.**

A potential cause of premature motor failure is unbalanced line (supply) voltage. Three phase motors produce useful work when they efficiently convert electrical energy into mechanical energy. This is accomplished when each phase of the supply voltage is of equal strength and works in harmony to produce a rotating magnetic field within the motor.

When the value of supply voltage leg to leg is not equal (e.g. 460-460-460), the risk of unbalanced line voltage is present. If this voltage unbalance exceeds about 1%, excessive temperature rise will result. Unless the motor HP capacity is derated to compensate, the motor will run hot resulting in degradation of the insulation system and bearing lubricant.

**From NEMA MG-1, 14.35: Derating factors due to unbalanced line voltage**



**Example: Field ratings of Phase A - 480 v, Phase B = 460 v, Phase C = 450 v**

As a rule of thumb, the percentage increase in temperature rise will be about two times the square of the percentage voltage unbalance. In this case the average voltage (480 + 460 + 450) is equal to 463 volts. The maximum deviation between legs is 17 volts (480 - 463 volts).

The Percentage voltage unbalance is determined as follows:  $17 / 463 \times 100 = 3.7\%$ . The temperature rise will then increase  $(3.7)^2 \times 2 = 27\%$ . This condition will reduce the typical life of your motor to less than 25% of its design life. Should this condition be present, call your electric utility and resolve your unbalanced supply condition.

Other areas of motor performance will also be effected - e.g., loss of torque capacity, change in full load RPM, greatly unbalanced current draw at normal operating speed. Refer to NEMA MG-1 section 14.35 for details.





**Motors Applied to Variable Frequency Drives (VFD's).**

Electric motors can be detrimentally affected when applied with variable frequency drives (VFD's). The non-sinusoidal waveforms of VFD's have harmonic content which causes additional motor heating; and high voltage peaks and short rise times, which result in increased insulation stress, especially when long power cable lengths are used. Other affects of VFD's on motor performance include reduced efficiency, increased load current, vibration and noise. Standard motors utilized with VFD's must be limited to those application considerations defined in NEMA MG-1 Part 30.

NEMA MG-1 Part 31 defines performance and application considerations for Definite-Purpose Inverter Fed motors. To insure satisfactory performance and reliability, U.S. Motors offers and recommends nameplated inverter duty motor products which meet the requirements of NEMA MG-1 Part 31. The use of non-inverter duty motors may result in unsatisfactory performance or premature failure, which may not be warrantable under the Terms and Conditions of Sale. Contact your U.S. Motors Field Sales Engineer for technical assistance in motor selection, application and warranty details.





**ELECTRIC MOTOR LOAD TEST USING THE WATT HOUR METER**

In the analysis of electric motors it is sometimes desirable to conduct an accurate load check on a particular installation to determine whether the motor is operating within the rating and horsepower for which it was designed. Since most pump installations have their own watt hour power meters, accurate readings will permit a load check via the following formula:

K = Disc constant (watts per revolution of disc per hour). This is typically found on the meter face.

R = Revolutions of disc in watt meter within the time of the test.

T = Time of test, in seconds.

Transformer ratio = Stated on meter face. Must be included where current transformers are used with watt meters.

To obtain input kilowatts: 
$$\text{Input KW} = \frac{K \times R \times 3.6}{T}$$

To obtain input horsepower: 
$$\text{Input HP} = \frac{K \times R \times 4.83 \times \text{Transformer Ratio}}{T}$$

The watt hour meter measures power consumed over a period of time. It is necessary to establish the rate at which power is being consumed by the work being done. We establish this rate by counting the revolutions of the disc in a given time. Here is a typical example of a load check:

**GIVEN**

Pump motor to be load checked is rated 100 HP, 1800 RPM, 3-phase, 60 Hz, 1.15 service factor, 91.0 Percent Efficiency.

Disc constant (K) found on face of meter = 40.

Transformer ratio found on face of meter = 3.

**DATA FOUND FROM TESTS**

With stop watch, disc was observed to revolve 10 times in exactly 49 seconds. Therefore, R = 10; T = 49.

THUS 
$$\text{Input HP} = \frac{40 \times 10 \times 4.83 \times 3}{49} = 118.29$$

Output HP = Input HP x Motor Efficiency  
Output HP = 118.29 x 91% = 107.54

**CONCLUSION**

The output HP (107.54) is greater than output HP shown on nameplate (100 HP), but is well within the 1.15 service factor which applies to this motor.





**U.S. Electrical Motors Division, Emerson Electric Co.**  
**8100 West Florissant Avenue, St. Louis, MO 63136**

*WWW Home Page: <http://www.usmotors.com>*



**REGIONAL OFFICES**

DOMESTIC U.S. SALES  
INTERNATIONAL SALES  
MONTREAL, QUEBEC/CANADA  
TORONTO, ONTARIO/CANADA

**PHONE**

(888) 637-7333  
(314) 553-3185  
(800) 361-5509  
(905) 475-4670

**FAX**

(314) 553-1101  
(314) 553-2135  
(514) 332-5912  
(905) 475-4672

MONTERREY, MEXICO  
CARACAS, VENEZUELA  
BOGOTA, COLOMBIA

(52) 8-389-1312  
(58) 02-2377522  
(57)1- 439-5420

(52) 8-389-1310  
(58) 02-2329727  
(57)1- 439-5417