



# **INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**

---

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y  
ELECTRICA**

**“SISTEMA DE REGULACIÓN EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN  
MEDIANA Y BAJA TENSIÓN ZONA NORTE”**

**TESIS COLECTIVA INTERDISCIPLINARIA**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTA:**

FERNANDO MUÑOZ CELAYA  
JUAN CARLOS VARGAS RIVERO

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**

**PRESENTA:**

JOAQUIN MELENDEZ CUAMATZI



**MEXICO. D.F AGOSTO 2009**

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

**TEMA DE TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN  
DEBERA(N) DESARROLLAR**

**INGENIERO ELECTRICISTA**  
**TESIS COLECTIVA INTERDISCIPLINARIA Y EXAMEN  
ORAL INDIVIDUAL**  
**C. JUAN CARLOS VARGAS RIVERO**  
**C. FERNANDO MUÑOZ CELAYA**

**“SISTEMA DE REGULACIÓN EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIANA Y BAJA  
TENSIÓN ZONA NORTE”**

**CUMPLIR CON LOS REQUISITOS Y LINEAMIENTOS PARA EFECTUAR LA REGULACIÓN DE  
VOLTAJE EN LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS EN MEDIANA TENSIÓN (23KV) DE LOS  
BANCOS DE POTENCIA DE LAS SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN; ASÍ COMO EN LOS  
TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO.**

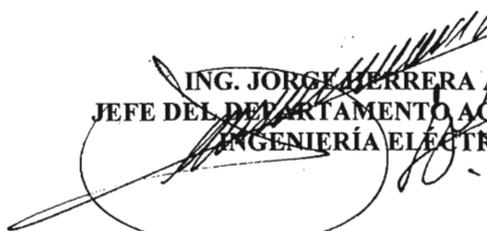
- **INTRODUCCIÓN**
- **GENERALIDADES**
- **SISTEMAS DE REGULACIÓN**
- **ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO**
- **CONCLUSIONES**

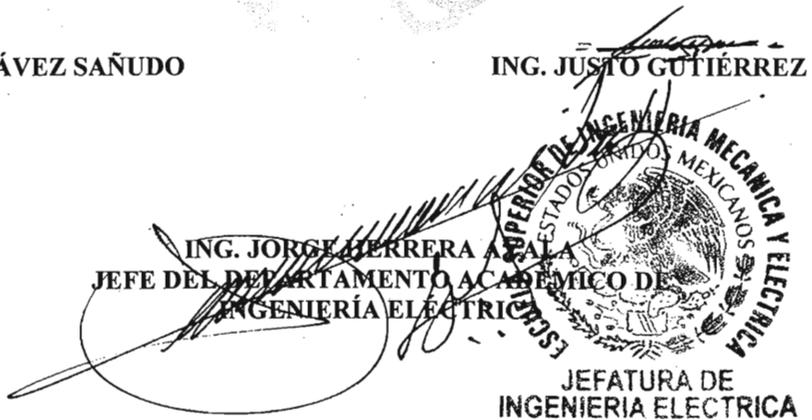
**MÉXICO D.F. A 20 DE MAYO DE 2009**

**ASESORES**

  
**ING. ANDRÉS D. CHÁVEZ SAÑUDO**

  
**ING. JUSTO GUTIÉRREZ MOYADO**

  
**ING. JORGE HERRERA**  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE**  
**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

  
**JEFATURA DE**  
**INGENIERIA ELECTRICA**

**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL “ ADOLFO LOPEZ MATEOS”**

**TEMA DE TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
POR LA OPCION DE TITULACION  
DEBERA(N) DESARROLLAR**

**INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACION  
TESIS COLECTIVA INTERDISCIPLINARIA Y EXAMEN  
ORAL INDIVIDUAL**

**C. JOAQUIN MELENDEZ CUAMATZI**

**“SISTEMA DE REGULACION EN LA RED DE DISTRIBUCION EN MEDIANA Y BAJA  
TENSION ZONA NORTE”**

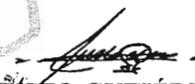
**CUMPLIR CON LOS REQUISITOS Y LINEAMIENTOS PARA EFECTUAR LA REGULACION DE  
VOLTAJE EN LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS EN MEDIANA TENSION (23KV) DE LOS  
BANCOS DE POTENCIA DE LAS SUBESTACIONES DE DISTRIBUCION; ASI COMO EN LOS  
TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION EN BAJA TENSION DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO.**

- **INTRODUCCION**
- **GENERALIDADES**
- **SISTEMAS DE REGULACION**
- **ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO**
- **CONCLUSIONES**

**MEXICO D.F. A 20 DE MAYO DE 2009**

**ASESORES**

  
**ING. ANDRÉS D. CHÁVEZ SAÑUDO**

  
**JUSTO GUTIÉRREZ MOYADO**

  
  
**ING. JOSÉ ANGEL MEJÍA ROMÁN**  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE  
INGENIERÍA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**

**DEDICATORIAS**

**A MIS PADRES Y HERMANOS**

**"NO HAY PALABRAS QUE PUEDAN DESCRIBIR MI PROFUNDO AGRADECIMIENTO HACIA MIS PADRES Y HERMANOS, QUIENES DURANTE TODOS ESTOS AÑOS CONFIARON EN MI, COMPRENDIENDO MIS IDEALES Y EL TIEMPO QUE NO ESTUVE CON ELLOS"**

**A MI ESPOSA**

**"QUE SIN SU APOYO NO LO HUBIERA LOGRADO, QUE ES LA FUERZA QUE ME IMPULSA A LUCHAR DIA A DIA, POR SU ESFUERZO Y CARIÑO INCONDICIONAL, PARA MOTIVARME EN ESTA ESTAPA TAN IMPORTANTE DE MI VIDA"**

**A MIS HIJOS**

**"POR TODAS LA VECES QUE NO PUDIERON TENER A UN PADRE DE TIEMPO COMPLETO"**

**A MIS PROFESORES**

**"QUE ME BRINDARON LOS CONOCIMIENTOS NECESARIOS PARA ENFRENTAR LOS DIVERSOS PROBLEMAS Y SITUACIONES QUE SE ME PRESENTEN EN EL TRAYECTO DE MI VIDA LABORAL"**

**A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE TRABAJO**

**"QUE TUVIERON UNA PALABRA DE APOYO PARA MI DURANTE MIS ESTUDIOS"**

**GRACIAS POR ATREVERSE A CONFIAR EN MI; YA QUE SIN USTEDES NUNCA UBIERA PODIDO COMPLETAR ESTE SUEÑO. REALMENTE NO HAY PALABRAS QUE LOGREN EXPRESAR LO MUCHO QUE QUIERO AGRADECERLES.**

**JUAN CARLOS VARGAS RIVERO.**

## DEDICATORIA

A los jueces del mañana a la posteridad que hoy toca a nuestra puerta, a los que llegan en un barco cargado de flores para la juventud.

Para mi hija Fernanda Sofía Muñoz Cruz.

Cuando dios pensó en crear al hombre, también pensó también en crear una mujer para que juntos formaran una familia. Además siempre te amare porque solo tú me diste la dicha de ser padre de una linda criaturita que es nuestra hija. Gracias

Para mi esposa Karla Ivonne Cruz Rocha

Tu cariño es mi bien madrecita en mi vida tu has sido y serás el refugio de todas mis penas.

Para mi mama Josefa Celaya Guevara

*FERNANDO MUÑOZ CELAYA*

Agradecimiento:

*En este peregrinar me permito manifestar mi gratitud y respeto para los seres queridos que me han brindado su apoyo incondicional y desinteresado; les doy gracias a los abuelos por darme a estos maravillosos padres que me brindaron el cobijo y protección de mis hermanos, que como cadena continua, segura y sólida en esta, se sigue forjando la integración en su fraterno y solidario vínculo a mis cuñis, manifestar el grato cariño, el amor a mis sobrinos consentidos.*

*Sin olvidar el total apoyo a ese ser que brinda el aliento del conocimiento natural del entorno que nos rodea que perdura hasta estos tiempos. Si a ti gracias por mandarme a tu joya mas preciada una de tus hijas ahora hoy mi esposa Isabel que me comparte un pedacito de ti que lleva por nombre Ángel Emanuel y que pusiste en mi camino para discernir y entender tu plan de vida para este tu servidor.*

*Por estos momentos y los que vendrán gracias.*

**JOAQUIN MELENDEZ QUAMATZI.**

**“SISTEMA DE REGULACIÓN EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIANA  
Y BAJA TENSION ZONA NORTE”**

### **OBJETIVO**

**“CUMPLIR CON LOS REQUISITOS Y LINEAMIENTOS PARA EFECTUAR LA REGULACIÓN DE VOLTAJE EN LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS EN MEDIANA TENSIÓN (23kV) DE LOS BANCOS DE POTENCIA DE LAS SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN; ASI COMO EN LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO”.**

## **INDICE**

	<b>PAG.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>CAPITULO 1: GENERALIDADES</b>	
1.1.- REDES DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSION. ....	11
1.2.- EN LUZ Y FUERZA DEL CENTRO EL SISTEMA DE DISTRIBUCION. ....	12
1.3.- LINEAS DE SUBTRANSMISION. ....	13
1.4.- SUBESTACION DE POTENCIA O DE SUBTRANSMISION. ....	13
1.5.- ALIMENTADORES PRIMARIOS. ....	13
1.6.- TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION. ....	15
1.7.- CIRCUITOS SECUNDARIOS. ....	16
1.8.- DISPOSITIVOS DE SECCIONAMIENTO EN UN ALIMENTADOR PRIMARIO EN 23 KV. ....	16
1.9.- CUCHILLA DE DISTRIBUCION. ....	18
1.9.1.- RESTAURADOR. ....	20
1.9.2.- SECCIONADOR O SECCIONALIZADOR. ....	21
1.9.3.- REDES DE DISTRIBUCION ZONA NORTE. ....	22
1.9.4.- REDES AEREAS. ....	22
1.9.5.- REDES SUBTERRANEAS. ....	23
1.9.6.- REDES DE DISTRIBUCION CON OPERACIÓN RADIAL. ....	23
1.9.7.- REDES DE DISTRIBUCION CON OPERACIÓN EN ANILLO. ....	24
1.9.8.- REDES DE DISTRIBUCION CON OPERACIÓN EN MALLA. ....	24

	<b>PAG.</b>
<b>CAPITULO 2: SISTEMAS DE REGULACIÓN.</b> .....	<b>25</b>
2.1.-ASPECTOS IMPORTANTES EN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA RED DE DISTRIBUCION. ....	25
2.1.a).- LA CALIDAD DE LA ENERGIA. ....	25
2.1.a.1).- TRES PERSPECTIVAS DE LA CALIDAD DE LA ENERGIA. ....	27
2.1.b).- CONTINUIDAD DEL SERVICIO. ....	27
2.1.3.- CONCEPTOS TEORICOS. ....	28
2.1.4.- TERMINOLOGIA PARA LA DESCRIPCION DE DISTURBIOS. ....	28
2.1.4.1.- PICO DE VOLTAJE. ....	29
2.1.4.2.- DEPRESION DE VOLTAJE (SAGS). ....	29
2.1.4.3.- DILATACION DE VOLTAJE (SWELL). ....	29
2.1.4.4.- SOBREVOLTAJE. ....	30
2.1.4.5.- PARPADEO (FLICKERS). ....	30
2.1.4.6.- INTERRUPCIONES DE ENERGIA. ....	31
2.1.4.7.- RUIDO ELECTRICO. ....	31
2.1.4.8.- DISTORSION ARMONICA. ....	32
2.1.4.9.- ARMONICAS EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS. ....	32
2.1.c).- REGULACION DE LA TENSION. ....	33
2.1.5.- COMPENSACION DE LA CAIDA DE TENSION EN LA LINEA. ....	35
2.1.5.1.- FACTORES QUE LIMITAN EL AJUSTE PARA COMPENSAR POR LDC. (CONTROLES DE AJUSTE PARA $V_R$ Y $V_X$ ). ....	38
2.1.6.- DEFINICIONES.....	39
2.1.6.1.- BANCOS. ....	40

	<b>PAG.</b>
2.1.6.2.- CAMBIADOR AUTOMATICO DE DERIVACIONES BAJO CARGA. ....	40
2.1.6.3.- REGULADOR. ....	40
2.1.6.4.- ALIMENTADOR. ....	41
2.1.6.5.- MANUAL. ....	41
2.1.6.6.- ELECTRICO MANUAL. ....	41
2.1.6.7.- REGIMEN. ....	42
2.1.6.8.- AUTOMATICO. ....	42
2.1.6.9.- RESISTENCIA. ....	42
2.1.6.10.- REACTANCIA. ....	43
2.1.6.11.- TIEMPO (TIME). ....	43
2.1.6.12.- NIVEL DE VOLTAJE. ....	43
2.1.6.13.- ANCHO DE BANDA. ....	45
2.1.6.14.- No. DE OPERACIONES. ....	45
2.1.6.15.- PERMISO. ....	45
2.2.- NORMAS Y REGLAMENTOS ANSI C 84-1-1989. ....	45
2.2.1.- PERFIL DE TENSIONES EN LOS LIMITES DE RANGO. ....	47
2.2.2.- PERFIL DE TENSIONES PARA UN SISTEMA DE DISTRIBUCION REGULADO. ....	47
2.2.3.- TENSION NORMALIZADA PARA EQUIPOS Y SISTEMAS ELECTRICOS (60 Hz.) NMX-J-98. ....	48
2.2.3.1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN. ....	48
2.2.3.2.- REFERENCIAS. ....	49
2.2.3.3.- DEFINICIONES. ....	49

	<b>PAG.</b>
2.2.3.3.a).- SISTEMA ELECTRICO. ....	49
2.2.3.3.b).- TENSION DEL SISTEMA. ....	49
2.2.3.3.c).- TENSION NOMINAL DEL SISTEMA. ....	50
2.2.3.3.d).- TENSION DE SERVICIO. ....	50
2.2.3.3.e).- TENSION DE UTILIZACION. ....	50
2.2.3.3.f).- TENSION NOMINAL DE UTILIZACION. ....	50
2.2.3.4.- CLASE DE TENSION DEL SISTEMA. ....	50
2.2.3.5.- LEY DEL SERVICIO PUBLICO DE ENERGIA ELECTRICA. ....	50
2.2.3.6.- REGLAMENTO DE OPERACIÓN. ....	53
2.2.4.- DESCRIPCION DE REGULACION. ....	54
2.2.5.- MODELOS DE REGULADORES. ....	55
2.2.5.1.- MK-20. ....	57
2.2.5.2.- VC-100 BU. ....	58
2.2.5.3.- M-2001B. ....	58
2.2.5.4.- TREE TECH. ....	59
2.2.6.- BANCOS DE CAPACITORES. ....	60
2.2.7.- PROBLEMAS DERIVADOS DE LA MALA REGULACION. ....	63
2.2.8.- UN VOLTAJE PERMANENTEMENTE BAJO CAUSA. ....	63
2.2.9.- MEDIANA TENSION. ....	63
2.3.0.- BAJA TENSION. ....	64
2.3.1.- EJEMPLOS. ....	64

	<b>PAG.</b>
2.3.1.a).- TRANSFORMADOR FUERA DE SU CENTRO DE CARGA. ....	64
2.3.1.b).- EL MISMO TRANSFORMADOR UNA VEZ REUBICADO EN SU CENTRO DE CARGA. ....	65
2.3.1.c).- TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION CON RED DE BAJA TENSION MUY EXTENSA. ....	65
2.3.1.d).- LA MISMA SECCION DE BAJA TENSION SECCIONADA CON UN TRANSFORMADOR ADICIONAL. ....	66
2.4.- LOS ELEMENTOS QUE PERMITEN MEJORAR EL VOLTAJE DE LLEGADA A LOS USUARIOS SON:	
2.4.a).- CAMBIADOR DE DERIVACIONES. ....	66
2.4.b).- CAPACITORES EN LA RED DEL ALIMENTADOR DE 23 KV. ....	67
2.4.c).- REGULADORES EN POSTE. ....	68
2.5.- MANUAL DE PROCEDIMIENTOS.....	69
2.5.1.- REQUISITOS, LINEAMIENTOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA REGULACION. ....	69
2.5.2.- PARA ATENDER UN PENDIENTE DE OPERACIÓN SISTEMA. ....	71
2.5.3.- PERFIL DE TENSIONES PARA UN SISTEMA DE DISTRIBUCION REGULADO. ....	73
2.5.4.- USO DEL CAMBIADOR DE DERIVACIONES DEL TRANSFORMADOR. ....	73
2.5.5.- SELECCIÓN DE TENSIONES. ....	74
2.5.6.- FACTORES QUE AFECTAN LA SELECCIÓN DE LA TENSION. ....	75
2.5.7.- EFECTO DE VARIACION DE TENSION EN LOS EQUIPOS. ....	77
2.5.8.- CALCULO DE CAIDA DE TENSION EN CONDUCTORES Y TRANSFORMADORES. ....	81
2.5.8.1.- USO DE TABLAS PARA EL CALCULO DE CAIDA DE TENSION. ....	81

	<b>PAG.</b>
2.5.8.a).- EJEMPLO DE USOS DE TABLAS. ....	82
2.5.9.- CAIDA DE TENSION EN TRANSFORMADORES. ....	86
2.5.9.a).- EFECTO DEL ARRANQUE DE MOTORES EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA. ....	86
2.5.9.b).- METODOS DE ARRANQUE DE MOTORES. ....	87
2.5.9.c).- EJEMPLO SIMPLIFICADO DEL CALCULO DE PERFIL DE TENSIONES EN UNA PEQUEÑA INDUSTRIA. ....	89
2.5.9.c.1).- SUBESTACION REDUCTORA DE 85-23 KV. DE LA COMPAÑÍA SUMINISTRADORA. ....	90
2.5.9.c.2).- TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION MEDIA- BAJA TENSION. ....	91
2.5.9.c.3).- RED DE DISTRIBUCION EN BAJA TENSION. ....	91
2.5.9.d).- EJEMPLO DEL CALCULO DE CAIDA DE TENSION EN UN SISTEMA POR EL ARRANQUE DE MOTORES. ....	92
2.5.9.e).- CALCULO DE IMPEDANCIAS. ....	93
2.5.9.f).- LINEA EN BAJA TENSION. ....	94
<b>CAPITULO 3.- ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO</b> .....	<b>101</b>
3.1.- COSTO DE REGULADORES.....	102
3.2.- BENEFICIOS ECONOMICOS PARA EL USUARIO.....	103
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>105</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>107</b>

## **INTRODUCCION.**

*El desempeño y calidad de servicio de un sistema de distribución son medidos en términos, del número de interrupciones y en el nivel de voltaje que se debe mantener dentro de los límites apropiados de acuerdo al tipo de servicio.*

*Debido a consideraciones económicas, la compañía suministradora no puede proveer a cada uno de los consumidores un voltaje constante que coincida con el voltaje del equipo del cliente; por lo que las compañías buscan permanecer dentro de un rango de variación de voltaje, satisfactorio para la operación de los equipos que interfieren en el consumo de la red eléctrica.*

*En general el sobrevoltaje reduce la vida de los aparatos eléctricos, afortunadamente la mayoría de los equipos operan satisfactoriamente dentro de un rango de voltaje, por lo que el uso de tolerancias y rangos es razonable.*

*El análisis de flujos de carga es una herramienta para un sistema de distribución y del cual se echa mano, el cual permite conocer el funcionamiento del sistema bajo ciertas condiciones de carga en un periodo de tiempo determinado, y por tanto se pueden conocer algunas condiciones eléctricas de cada uno de los componentes que integran el circuito alimentador de distribución (esto es bajo condiciones climatológicas normales y en donde no se tengan que realizar maniobras de redistribución de carga que también es una variante del tema de regulación, así también en términos climatológicos externos a la red que provocan cortos circuitos en la misma o por daños provocados intespetuosamente)*

*La información a obtener de los estudios de flujos de carga debe comprender el razonamiento y entendimiento para la plantación y proyección para hacer uso de esta valiosa información.*

*Debiendo tener como base conocer lo siguiente:*

*Para cada sección de línea que conforma un alimentador de distribución se puede conocer que secciones de línea están sobrecargadas, al conocer la cantidad de corriente que esta circulando por cada sección de línea.*

*También se determina la caída de voltaje y regulación de voltaje (si es necesario) en cada nodo (punto de conexión en ramal o troncal) de un alimentador, el cual puede responder a la ubicación geográfica de un transformador de distribución. En México se utiliza un 5% de regulación de voltaje, máximo en sistemas de distribución primaria, aunque puede seleccionarse algún otro criterio.*

*Además el flujo de cargas nos proporciona el flujo de potencia activa y reactiva en las secciones de línea y de ahí poder determinar las perdidas de potencia y energía de un alimentador.*

*En casos de que el sistema no cumpla con los requerimientos eléctricos especificados, se realizan acciones correctivas, como son:*

*- Analizar el cambio de conductores en la zona requerida para lograr la optimización de los mismos.*

*Para que en base a un estudio de flujos determinar los conductores sobrecargados, comparando las mejoras obtenidas para el funcionamiento del sistema.*

*Si el nivel de voltaje rebasa el límite máximo permitido de regulación de voltaje, puede procederse a la instalación de reguladores de voltaje en nodos estratégicos, de tal forma de ajustarlos dentro de los límites permisibles. (Estos casos se presentan muy frecuentemente en el final del sistema de distribución)*

*Si fuera necesario ajustar el factor de potencia a un valor deseado primeramente se determinan los Kvars. necesarios para mejorarlo, utilizando bancos de capacitares además estos se pueden usar para reducir al máximo las pérdidas de energía producidas por las corrientes reactivas. Cargas en horas pico que hoy en día son marcadas a partir del medio día donde se presenta en forma más común el consumo de potencia eléctrica.*

*En regulación de tensión, para regular la tensión en 23 kv., en las subestaciones de 85/23 kv. Con subestaciones de transformadores monofásicos; se instalan reguladores de tensión por cada transformador o banco. Estos reguladores son del tipo auto transformadores trifásicos con cambiador automático de derivaciones bajo carga en el lado de baja tensión, controlado por un sistema de regulación de tensión que mantiene la tensión adecuada en las terminales del devanado de 23 Kv., en función de la carga conectada (regulación automática)*

*Los transformadores de 230/23 Kv, 60 MVAs tienen un cambiador de derivaciones bajo carga del lado de alta tensión controlado por un sistema de regulación de tensión que mantiene la tensión adecuada en las terminales de los devanados de 23 Kv. Igualmente en función de la carga conectada.*

*Estas son soluciones que se tienen en luz y fuerza del centro por lo que la presentación de este material es conocer en parte la temática dando a conocer y aplicar las mejoras ala red misma con apoyo técnico de ingeniería en sistemas de distribución, en apoyo a redes locales remotas, automáticas, semiautomáticas tendiendo a que el sistema proceda de manera automática y en lo que se esta trabajando.*

*Siendo esta presentación como parte del buen entendimiento de manera general el transmitir de manera clara los trabajos que se efectúan dentro de una red de distribución que se esta mejorando técnicamente pero que con un esfuerzo de comunicación con nuestros usuarios y personas que apoyan se tendrán el reflejo de las mejoras.*

*La gran demanda del servicio de energía eléctrica en el área de influencia de Luz y Fuerza del Centro, requiere de la construcción de infraestructura eléctrica de Generación, Transmisión, Transformación y Distribución.*

*Se puede destacar dentro de los logros la instalación de nueve subestaciones móviles con una inversión aproximada de 450 millones de pesos y una capacidad cercana a los 400 MVA.*

## **CAPITULO 1.- GENERALIDADES.**

### **1.1.- REDES DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN.**

*Se entiende por sistema de distribución de energía eléctrica a la disposición adoptada por los conductores y receptores, para lograr que la energía generada en las centrales pueda ser utilizada en los lugares de consumo, las redes de distribución están formadas por conductores que, son procedentes de centros de transformación (C.T.), que tienen la finalidad de ir alimentando las distintas acometidas que van encontrando a su paso en suministro de baja tensión, Se denomina acometida a la parte de instalación comprendida entre la red de distribución y la caja general de protección.*

*Todo este conjunto, cuya finalidad no es otra que la de suministrar la potencia eléctrica contratada por cada uno de los usuarios, debe reunir ciertos requisitos en lo que a caída de tensión se refiere, ya que ésta deberá estar comprendida dentro de los límites establecidos del  $\pm 7\%$ ; es decir, que si la tensión nominal contratada es de 220V., los límites de variación máximos admitidos serán:*

$$220 + 7\% = 235,4 \text{ V.CA} \quad \text{y} \quad 220 - 7\% = 204.6 \text{ V.C.A.}$$

*Para poder cumplir esta exigencia, las caídas de tensión máxima admitidas en los distintos tramos de la línea se hallan especificadas en el Reglamento Electrotécnico de Baja tensión, para su obligado cumplimiento. Así, tendremos que:*

*\* Acometidas derivadas de una red de distribución: 0.5%*

*\* Acometidas derivadas directamente de un centro de transformación: 5%*

*Se Suministra energía en 220 volts entre fases y 127 volts entre fase a neutro; para a si poder alimentar las cargas de los usuarios de consumos pequeños. Una red de distribución alimentada por uno solo de sus extremos tiene el inconveniente de que, si por algún motivo, fallara la alimentación al centro de transformación, el propio centro de transformación, o la red de distribución, todos los usuarios del sector afectado se quedarían sin suministro eléctrico.*

*Por motivos de seguridad en el suministro, las redes de distribución se hallan interconectadas unas con otras, formando complejas redes que dejan conectados en paralelo todos los centros de transformación. Por otra parte, la interconexión de redes de distribución favorece el reparto de las intensidades según las cargas de cada momento, aprovechando mejor las secciones de los conductores, con la consiguiente disminución de las caídas de tensión.*

*En términos generales las arterias son conductores que unen las estaciones transformadoras de distribución, con los centros de transformación, los cuales*

alimentan a su vez a las redes de distribución, que se puede transmitir por enlace depende del límite técnico de los conductores o del margen de seguridad que permita preservar la integridad y estabilidad del sistema ante una desconexión imprevista de una línea de transmisión, o del límite de voltaje aceptable en los extremos de enlace. Estos dos últimos factores son los que restringen con mayor frecuencia la potencia máxima de transmisión entre los enlaces de la red nacional.

## 1.2.- EN LUZ Y FUERZA DEL CENTRO EL SISTEMA DE DISTRIBUCION.

Comprende las instalaciones eléctricas a partir de 23 kV. como mediana tensión y hasta tensiones de 127 V. como tensión mas comercial y frecuente, rangos de tensiones en las que se entrega la energía eléctrica a los usuarios, el sistema de distribución por lo general se toma como la parte del sistema eléctrico de potencia, el cual comprende desde líneas de subtransmisión hasta el equipo de medición de los consumidores.

El sistema de distribución en LUZ Y FUERZA DEL CENTRO esta integrado desde la generación por; subestación elevadora, líneas de transmisión, subestación de transmisión, sistema primario de distribución regulado, transformador de distribución, sistema secundario de distribución, circuitos derivados y el equipo a utilizar como carga. Ver FIG. 1.

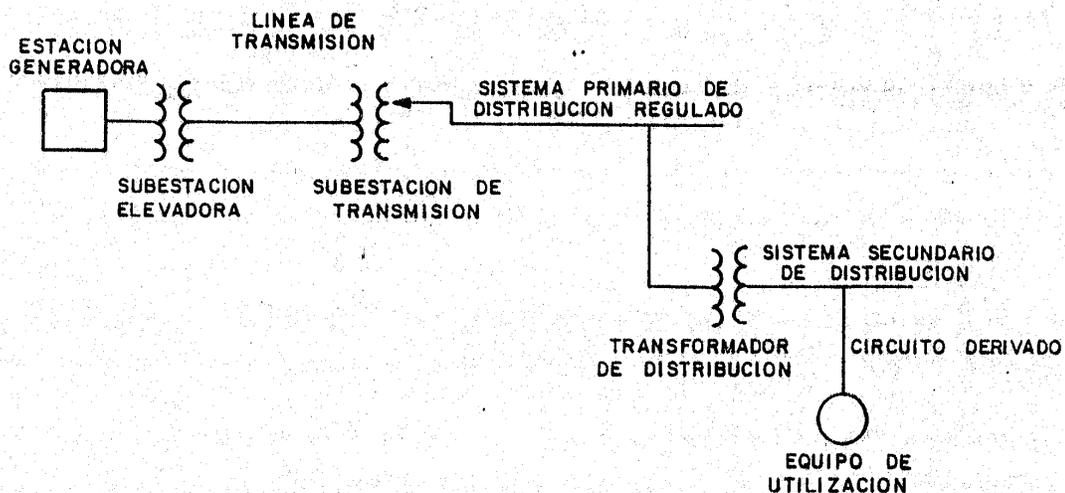


Fig. 1

### **1.3.- LINEAS DE SUBTRANSMISIÓN.**

*Las líneas de subtransmisión son circuitos eléctricos que transportan energía eléctrica desde los sistemas de transmisión o plantas generadoras hacia las subestaciones de potencia o transmisión. Las líneas de subtransmisión generalmente alimentan tres o más subestaciones de potencia. (Esto es de acuerdo a su capacidad de generación - recepción al instante de la distribución.*

*Las líneas de subtransmisión en México conducen la energía eléctrica en tensiones de 150 kV., 115 kV. y 85 kV., desde el sistema de transmisión o de las plantas generadoras hasta la subestación de potencia.*

### **1.4.- SUBESTACION DE POTENCIA O DE SUBTRANSMISION.**

*La subestación de potencia es un conjunto de elementos y equipos eléctricos utilizados para convertir y distribuir la energía eléctrica recibida de las líneas de transmisión y subtransmisión a las subestaciones de potencia para así llegar a los usuarios a través de alimentadores primarios en diferentes trayectorias. La subestación de potencia reduce las tensiones recibidas del sistema de transmisión o subtransmisión a valores adecuados para ser distribuida a los consumidores, finales de la red de distribución en estudio y en la practica se tienen subestaciones que operan con voltajes de 85/23 kV y 230/23 kV, utilizando transformadores con capacidades de 30MVA, 45MVA y 60MVA, las capacidades de las subestaciones son de 45MVA, 90MVA, 120MVA y 180MVA. Una vez reducida la tensión a 23 kV, en donde la energía eléctrica es transportada por alimentadores primarios.*

### **1.5.- ALIMENTADORES PRIMARIOS.**

*Los alimentadores primarios son líneas de distribución aéreas o subterráneas y mixtas (una combinación de aéreo y subterráneo) en (donde las líneas aéreas son montadas sobre postes de madera o concreto con material de apoyo a la sujeción de estos materiales) por lo que son los circuitos encargados de llevar la energía eléctrica desde los transformadores de la subestación de potencia hasta los transformadores de los usuarios que comúnmente utilizan tensiones de 23 kV, 13.8 kV y 6 kV , por lo que las tensiones de 13.8 kV y 6 kV su tendencia es la de dejarla de utilizar en alimentadores primarios ya que es complejo mantener una diversidad de equipos suministradores, en donde estos tienen cierto parecido a un árbol de donde proviene el concepto de ramal y ramales que, generalmente se tienen en una red troncal por ser la parte principal de donde provienen los ramales, subtroncal, ramales y subramales. Ver fig.2.*

Los calibres de las líneas de distribución más utilizadas en LyFC son; En troncales ALD 556 y ALD 336 (se indica en color rojo como se muestra en la FIG.2), en subtroncales, ramales y subramales ACSR 1/0 y ACSR 2 (indicados en color verde de la FIG. 2), en tramos subterráneos 23PT1x240, aunque la nueva tendencia es cambiar a 23TC1x240 en estos tramos subterráneos. La capacidad de los alimentadores para distribuir energía eléctrica está en función del calibre del conductor, del número de alimentadores por transformador de potencia, nivel de tensión y capacidad del transformador de potencia.

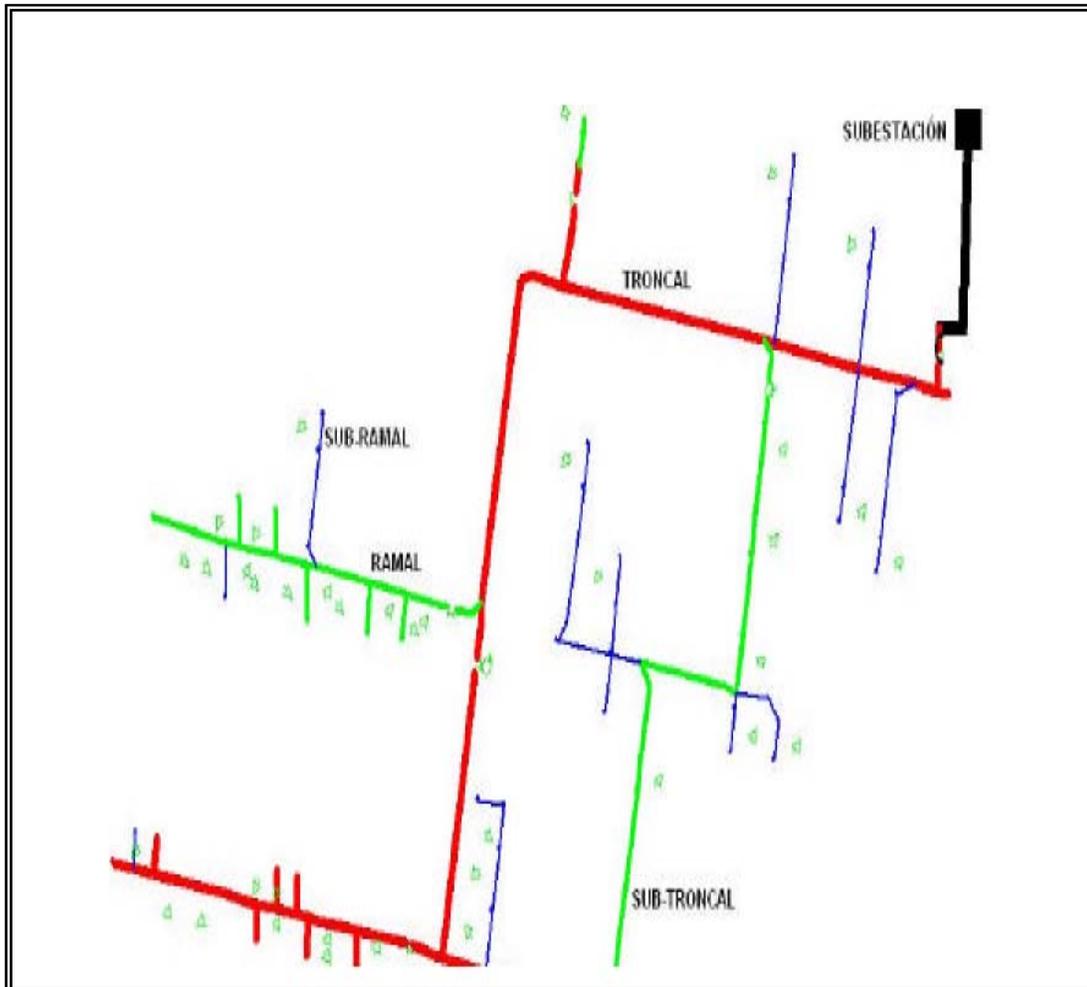


FIG. 2 ALIMENTADOR PRIMARIO. (CON TRANSFORMADOR DISTRIBUIDOR SUBESTACION)

### 1.6.- TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.

Los transformadores de distribución son equipos eléctricos para reducir de mediana tensión a 23 KV (ver FIG. 3.a.). Y a la tensión de utilización de los usuarios, en las redes de distribución de LyFC generalmente se utilizan transformadores monofásicos y trifásicos. (Ver FIG. 3.b.).

Los transformadores de distribución en LyFC, normalmente son utilizados para reducir la tensión de 23 kv a tensiones de 127 V. de fase a neutro y 220 V. entre líneas o fases, con capacidades generalmente de 5 kVA, 15 kVA, 30 kVA, 45 kVA, 75 kVA, 112.5 kVA, 150 kVA, 225 kVA y 300 kVA. Existen transformadores de los usuarios en mediana tensión que llegan a tener capacidades de hasta 5000 kVA, en LyFC. Los transformadores de usuarios en mediana tensión tienen tensiones secundarias según sean las necesidades de los consumidores. Los transformadores de distribución pueden ser tipo poste o pedestal. Los transformadores tipo poste están diseñados para aplicaciones donde la distribución de energía eléctrica es aérea, los transformadores tipo pedestal son diseñados para la distribución subterránea comercial, industrial o residencial.

FIG.3. a. Diagrama unifilar que muestra la reducción de tensión de 230 Kv a 23 Kv. (Con arreglo doble barra)

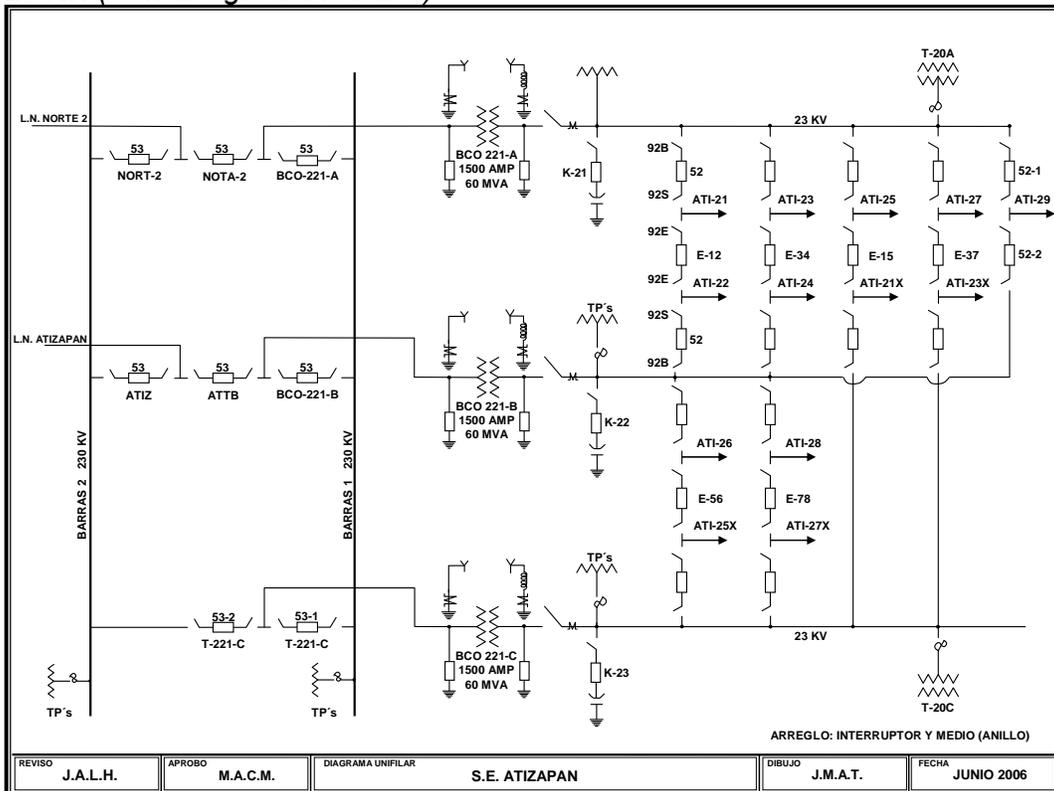




FIG. 3 .b. TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSION.

### **1.7.- CIRCUITOS SECUNDARIOS.**

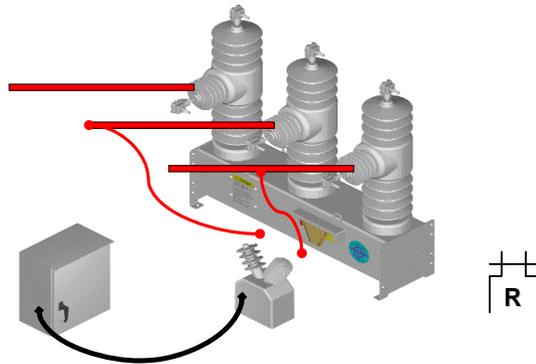
*Estos circuitos llevan la energía eléctrica de los transformadores de distribución hasta las acometidas de los usuarios en baja tensión, por lo general con tensiones de 127 V. De fase a neutro y 220 V de fase a fase, las acometidas son los puntos de interconexión entre los usuarios y los circuitos secundarios de los transformadores de distribución.*

### **1.8.- DISPOSITIVOS DE SECCIONAMIENTO EN UN ALIMENTADOR PRIMARIO EN 23 KV.**

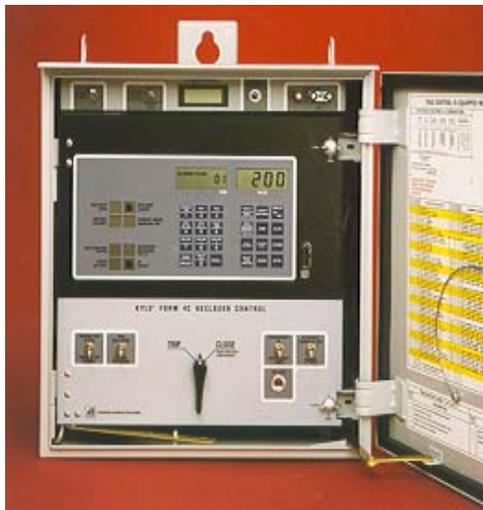
*Los dispositivos de seccionamiento que son utilizados como equipos de protección contra sobre corrientes y sobrecarga con esto se aumenta los niveles de confiabilidad y continuidad del servicio, con la instalación de estos equipos se reduce el efecto de las fallas. Un alimentador está dotado de un interruptor de potencia y arreglos diversos de interconexión con sus alimentadores posteriormente se tienen protecciones como pueden ser un restaurador o seccionalizador independientes de las protecciones propias de la subestación de potencia, seccionadores del tipo cuchillas en sus diversas formas de operación y conexión así también fusibles como elementos*

seccionadores para cargas consideradas pequeñas esta descripción es la que se tiene a lo largo de un alimentador. Ver FIG.4 .a),b) y c)

Fig. 4 a) Equipo de un interruptor Das 27. y su símbolo en un diagrama unifilar.



Su control electrónico con alimentación de 220 Vc.a. Debe tener respaldo de baterías para por lo menos 48 Horas de servicio en condiciones de temperatura a 40°C y de la condición de UTR para que este dispositivo se pueda integrar al sistema supervisorio de LYFC para permitir la operación remota. O automática por telecontrol.

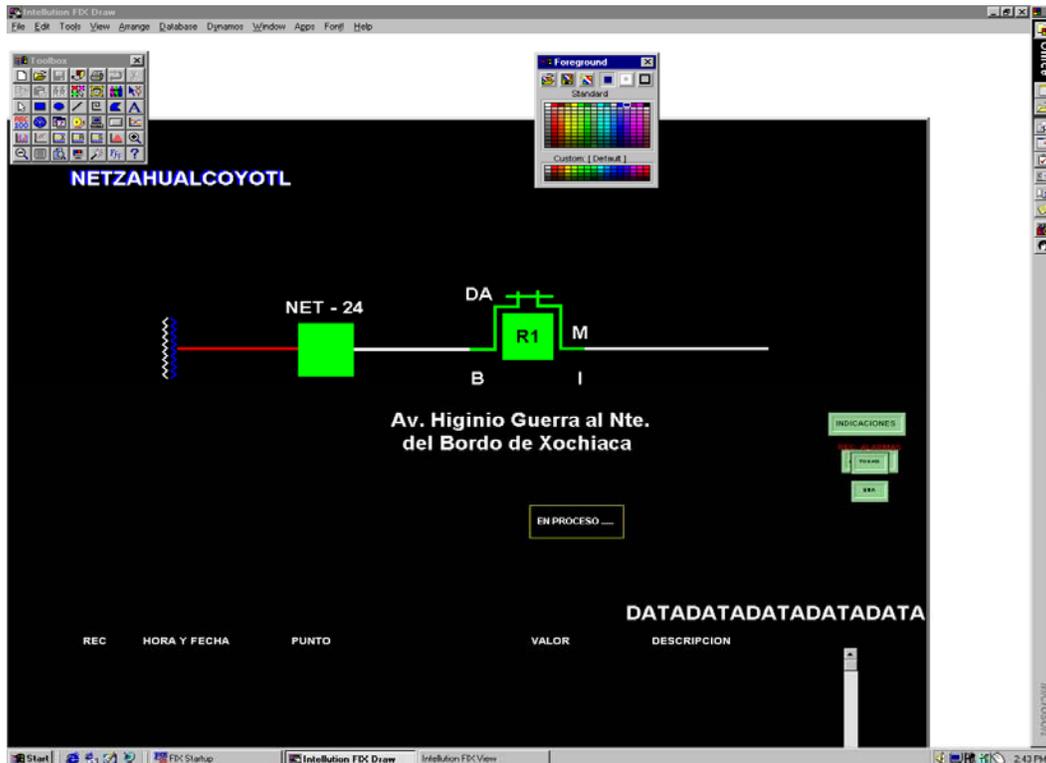


b).-Gobernador de control para un Restaurador.



c).- Su colocación física en poste a la intemperie.

La Fig.5. Muestra la Pantalla por Telecontrol de la subestación Netzahualcoyotl y en donde se deriva con el alimentador Net-24 y su conexión remota con su restaurador R1 y con dirección de ubicación. Esto es con la finalidad que este elemento de control sea manipulado de forma automática, semiautomática y remota desde el centro de control, mediante la interacción de un operador y personal ejecutante.



En la anterior Fig. 5 Se muestra como se interactúa de manera remota y automática con el elemento de control para aislar fallos del tipo sobré corriente en la red.

### 1.9.- CUCHILLA DE DISTRIBUCIÓN.

Es un dispositivo para abrir o cerrar circuitos sin carga debido a que no tienen capacidad interruptiva, son utilizadas para seccionar el alimentador, es un medio de seguridad quizás visual que permite asegurar que el circuito está abierto.

Las cuchillas de distribución más comúnmente utilizadas en los alimentadores de la zona en estudio, son las cuchillas de operación sin carga o seccionadoras y las cuchillas cortacircuitos fusible. Ver Fig.6.

las cuchillas de operación sin carga o seccionadoras operan como su nombre lo indica sin corriente, es decir, no tienen la capacidad de restablecer automáticamente la continuidad del suministro de energía eléctrica, debido a que no tienen cámaras de extinción del arco de corriente presente a una falla.

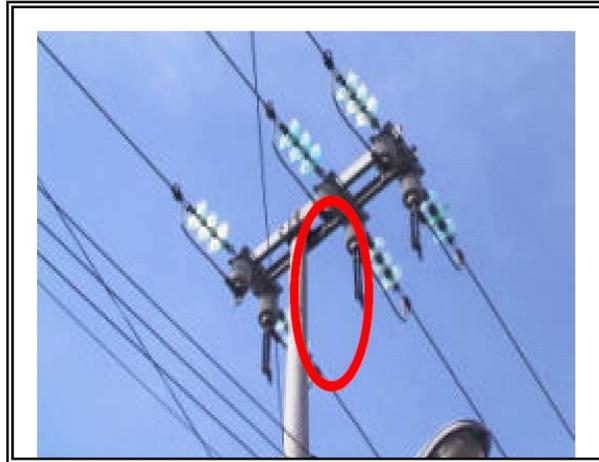


FIG. 6 CUCHILLA DE DISTRIBUCIÓN DEL TIPO HORIZONTAL

Las cuchillas cortacircuitos fusible están compuestas de dos partes: Cuchilla y elemento fusible, tienen la capacidad de interrumpir una falla, al rebasar un límite de corriente para la cual fue diseñado y fundirse el fusible. la función del fusible fundamentalmente es aislar la parte del circuito en donde fue instalado del resto del alimentador sin falla e impedir que se dañen los equipos instalados delante del mismo, los fusibles son utilizados principalmente en ramales cortos, en el lado de alta y baja tensión de transformadores de usuarios en media tensión o transformadores de distribución. Ver Fig.7.



FIG. 7. CUCHILLA CORTACIRCUITOS FUSIBLE UTILIZADA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

### 1.9.1.- RESTAURADOR.

*El restaurador es un dispositivo habilitado para censar e interrumpir en determinado tiempo, sobre corrientes en un alimentador debidas a una falla, así como efectuar re cierres automáticos re energizando el circuito. Tiene como función aislar la sección no fallada al ocurrir una falla permanente o transitoria en el alimentador, evitando así afectar a todos los usuarios del mismo.*

*Los restauradores se clasifican por el número de fases en monofásicos y trifásicos, su mecanismo de operación puede ser hidráulico o electrónico, finalmente la interrupción del arco de corriente es en vacío o aceite. Ver fig.8 .a y b.*

*Los restauradores tienen la sensibilidad para discriminar fallas permanentes de fallas temporales, determina si la falla a desaparecido debido a que cuenta con re cierres automáticos y si persistiese la falla vuelve al estado de apertura, esta secuencia se puede llevar a cabo generalmente hasta tres o cuatro veces, dependiendo del ajuste del restaurador.*

#### SIMBOLO DEL RESTAURADOR:

*El símbolo del restaurador utilizado para el sistema restaurador-cuchilla, esta compuesto por dos partes, la horizontal representa a la cuchilla puente-adora y el resto del grafico representa al restaurador representa al nodo remoto con supervisorio y las cuchillas como son de operación manual se consideran como semi-automáticas.*

*En donde:*

*L- indica el estado operativo del restaurador*

*L - licencia*

*LM- licencia y reemplazo manual*

*O- observación*

*IA- valor de la magnitud de la corriente en la fase A*

*I - indica inhibir la alarma asociada*

*En la parte central se coloca una **R** de seccionador o una **S** de restaurador*

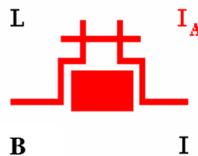




Fig. 8 a . RESTAURADOR TRIFASICO A LA INTERPERIE

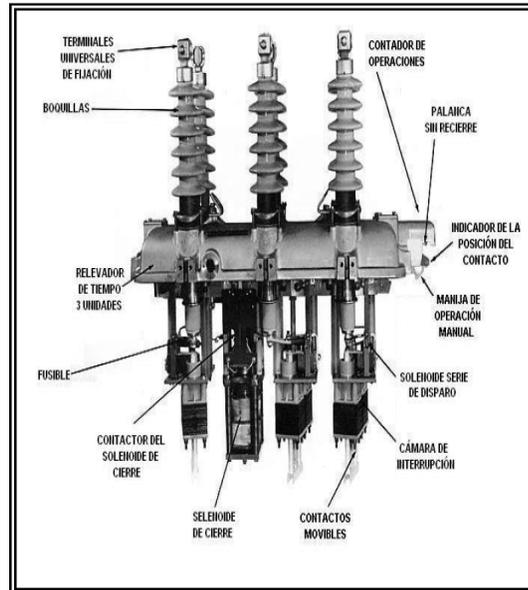


FIG. 8.b. RESTAURADOR TRIFASICO SIN TANQUE:

### 1.9.2.- SECCIONADOR O SECCIONALIZADOR.

*Es un dispositivo de protección para apertura de un alimentador que abre sus contactos automáticamente mientras el circuito está desenergizado debido a la operación de un interruptor o un restaurador.*

*Este dispositivo de protección hace posible que una falla pueda ser aislada o seccionada a una pequeña parte del alimentador donde fue instalado el seccionador, afectando de esta manera a un número menor de usuarios. Los seccionadores se clasifican en monofásicos o trifásicos, su mecanismo de operación puede ser hidráulico o electrónico. Ver Fig.9.a y b.*

*El seccionador es un dispositivo que permite aislar una falla en el ramal que este instalado, al abrir sus contactos después de completar 3 conteos, para que dichos conteos se lleven a cabo es necesario cumplir con dos condiciones:*

*La primera.- Circulación previa de una sobre corriente igual o mayor a la corriente mínima de operación.*

*La segunda.- Que dicha sobre corriente haya sido interrumpida.*

*Un seccionador en su funcionamiento tiene comunicación con los restauradores o interruptores, según sea el caso. Un seccionador no tiene la capacidad de interrumpir corrientes de falla, por esta razón debe instalarse en*



### 1.9.5.- REDES SUBTERRÁNEAS.

*Está constituida por uno o varios cables aislados que forman parte de un circuito eléctrico o de comunicación, colocados bajo el nivel del suelo, ya sea directamente enterrado, en ductos o en cualquier otro tipo de canalización.*

*La utilización de redes subterráneas se justifica en zonas urbanas con alta concentración de cargas o en lugares donde la estética es un factor importante, debido a que en una red subterránea incrementa su costo de tres a diez veces el costo de una red aérea. En estas redes los alimentadores primarios se construyen con cables aislados y van directamente enterrados o en ductos por lo general de concreto.*

### 1.9.6.- REDES DE DISTRIBUCIÓN CON OPERACIÓN RADIAL.

*En este arreglo el flujo de la corriente posee una sola trayectoria de la subestación de potencia a los transformadores de los usuarios, la operación radial en sistemas de distribución es común debido a su bajo costo y sencillez del sistema, sin embargo, una inconveniencia de esta configuración es que ante una falla se puede perder la continuidad del suministro de energía eléctrica, desde el punto de falla hasta el último usuario del lado de la carga.*

*Un sistema de distribución está compuesto de una o más subestaciones de potencia y cada una de ellas cuenta con uno a más alimentadores, LyFC diseña los alimentadores mallados, pero se operan en configuración radial. Ver Fig.10.*

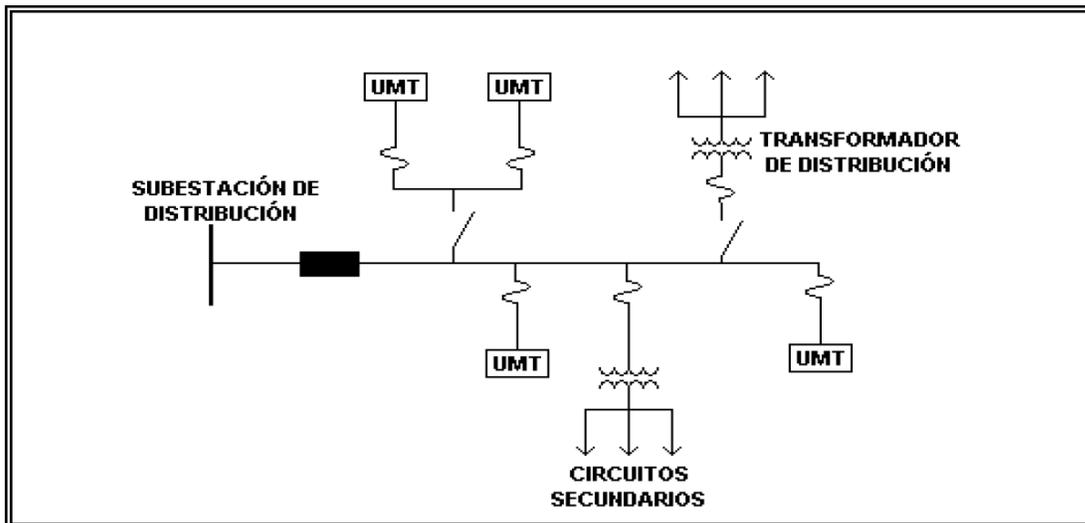


FIG. 10. RED DE DISTRIBUCIÓN DE OPERACIÓN RADIAL CON CARGAS DE USUARIOS DE MEDIANA TENSIÓN (UMT) Y TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.

### 1.9.7.- REDES DE DISTRIBUCIÓN CON OPERACIÓN EN ANILLO.

En esta red el alimentador parte de una subestación siguiendo la trayectoria en las que están ubicadas las cargas, a estas se les suministra energía eléctrica, para posteriormente regresar a la misma subestación la cual puede tener una, dos o más fuentes de alimentación. Ver Fig.11.

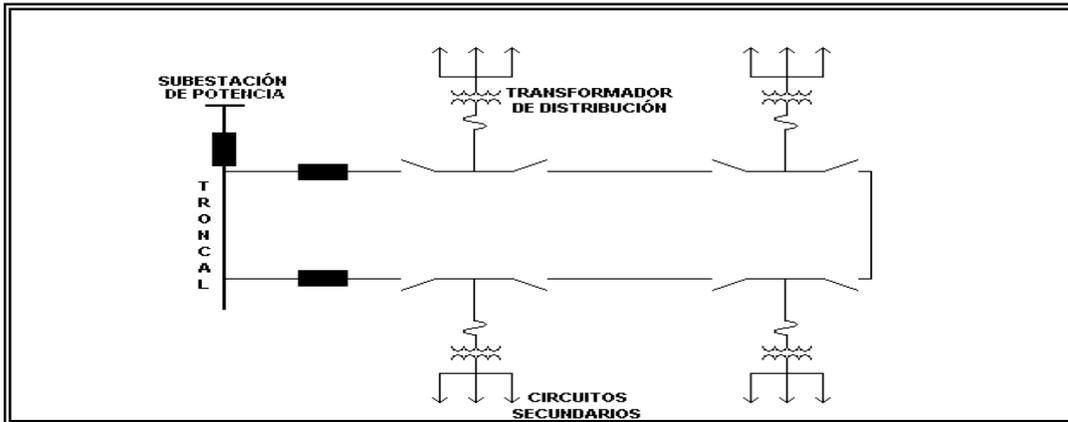


FIG. 11 RED DE DISTRIBUCIÓN CON OPERACIÓN EN ANILLO CON UNA SOLA SUBESTACIÓN DE POTENCIA.

### 1.9.8.- REDES DE DISTRIBUCIÓN CON OPERACIÓN EN MALLA.

La red de distribución en malla es un conjunto de redes con operación en anillo interconectadas entre sí, para dar mayor confiabilidad a la red. Estas redes son construidas subterráneas o aéreas y tienen la propiedad de cuando existe una falla interna en el anillo, pueden resolverlo con sus propios recursos haciendo maniobras entre las subestaciones. Ver Fig.12.

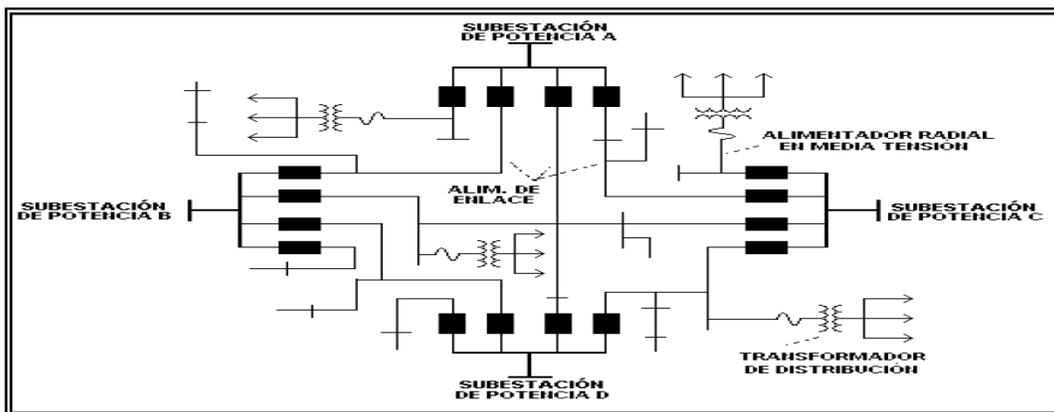


FIG. 12 RED DE DISTRIBUCION CON OPERACIÓN EN MALLA.

## **CAPITULO 2: SISTEMAS DE REGULACIÓN.**

*La calidad de la energía eléctrica depende en gran medida del voltaje; sin embargo, no es posible proporcionar voltaje nominal al usuario en general, sino que éste debe recibirlo dentro de un rango determinado establecido por las normas NOM-SEDE-001-2005. Los otros índices de la calidad de la energía eléctrica son la continuidad del servicio, la frecuencia constante, la forma de onda senoidal y el desfase de 120° eléctricos entre fases. Los voltajes utilizados por los usuarios residenciales y comerciales son normalmente:*

*120/240 v Tres hilos una fase.  
240/120 v Cuatro hilos tres fases.*

*El proporcionar en forma económica a cada usuario un voltaje que cumpla con los estándares establecidos en normas y reglamentos*

*Permitiendo la correcta operación de sus equipos.*

**Sistema de media tensión      23 000    volts ± 10%**

**Sistema de baja tensión      220-127    volts ± 10%**

**Según reglamento de la ley del servicio público de energía eléctrica.**

*En condiciones de emergencia el voltaje puede salirse de rango, por ejemplo cuando se presenta una falla en el alimentador principal y se tiene alimentación por rutas alternativas o bien cuando los reguladores de voltaje quedan fuera de servicio.*

### **2.1.- ASPECTOS IMPORTANTES EN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA RED DE DISTRIBUCION.**

**a).- LA CALIDAD DE LA ENERGÍA.**

**b).- CONTINUIDAD DEL SERVICIO.**

**c).- REGULACIÓN DE LA TENSIÓN.**

**2.1. a).- LA CALIDAD DE LA ENERGÍA.-** *El suministro de energía eléctrica debe realizarse con una calidad adecuada, de manera que todos los aparatos que utilizan la energía eléctrica funcionen de manera correcta.*

*La definición de la calidad de la energía es muy amplia. Pero se puede definir como la ausencia de interrupciones, sobré tensiones, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje suministrado al*

usuario. Además le concierne la estabilidad de voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico. Actualmente la calidad de la energía es el resultado de una atención continua. En años recientes, esta atención ha sido de mayor importancia debido al incremento del número de cargas sensibles en los sistemas eléctricos, las cuales, por sí solas resultan ser una causa de degradación en la calidad de la energía eléctrica.

Debido a la importancia que representa la energía eléctrica en nuestra vida, la cual es usada en la iluminación, en la operación de diversos equipos, vídeo, aire acondicionado y sistemas de cómputo, así como en procesos industriales como de servicio, es importante contar con una buena calidad de energía. La energía eléctrica además se ha empleado en la fabricación de la mayoría de las cosas que utilizamos. Por consiguiente los disturbios y variaciones de voltaje que se producen en la red eléctrica afectan directamente al usuario.

Por dar un ejemplo, las depresiones de voltaje por sólo cinco milisegundos son capaces de hacer que una computadora pierda su información o causar errores, es por esto que el incremento en el equipo de procesamiento de datos (computadoras) ha marcado al problema de la calidad de la energía como un problema muy serio.

Los disturbios no sólo afectan al equipo de los consumidores, sino que también perjudica la operación de la red de suministro. Los disturbios mencionados causan problemas como los que se citan a continuación:

- a) Operación incorrecta de controles remotos.
  - b) Sobrecalentamiento de cables.
  - c) Incremento de las pérdidas reactivas de los transformadores y Motores.
  - d) Errores en medición.
  - e) operación incorrecta de sistemas de protección.
- entre otros

Debido a estos problemas, algún componente de cualquier equipo puede sufrir un daño considerable al presentarse algún transitorio que rebase su nivel de aislamiento. Otro ejemplo, un rectificador puede llegar a fallar si es expuesto a un voltaje transitorio arriba de cierto nivel.

Podemos decir, que el objetivo de la calidad de la energía es encontrar caminos efectivos para corregir los disturbios y variaciones de voltaje en el lado del usuario, y proponer soluciones para corregir las fallas que se presentan en el lado del sistema de la compañías suministradoras de energía eléctrica, para lograr con ello un suministro de energía eléctrica con calidad.

### **2.1.a.1).- TRES PERSPECTIVAS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA.**

*El problema de la calidad de la energía puede ser visto desde tres perspectivas diferentes. La primera de ellas, es la que corresponde al lado de los consumidores después del medidor, y es el impacto de los disturbios en los equipos. La segunda, también del lado de los consumidores, es que los fabricantes de equipos deben conocer los niveles de éstos disturbios y la frecuencia con que ocurren, para así determinar una tolerancia razonable para sus equipos. La tercera que concierne a ambos lados del medidor, es cómo los disturbios ocasionados por un consumidor afectan a otros consumidores que están conectados a la misma red de suministro.*

*La compañía de suministro no puede darse el lujo de suponer que provee una excelente calidad de energía, ya que algunos de los disturbios quedan fuera del control de la empresa. Por ejemplo no puede tener el control de que una descarga atmosférica no caiga sobre ni en las cercanías de una línea de transmisión, o no puede evitar que algún desperfecto en algún equipo genere una interrupción de energía.*

*Basados en el conocimiento de diseño y en el área eléctrica, los fabricantes deben diseñar y construir equipos que puedan resistir niveles razonables de disturbios. Los usuarios de equipo sensible a los disturbios pueden escoger entre dos opciones para eliminarlos, o al menos reducirlos: una es hacer un buen diseño del circuito de distribución y otra es utilizar equipo de acondicionamiento.*

*A continuación se muestran algunos tipos de consumidores que requieren forzosamente equipos de acondicionamiento para mantener un buen nivel de calidad de energía eléctrica:*

- a) Sistemas de información que utilizan equipo de cómputo.*
- b) Departamentos de paramédicos y bomberos.*
- c) Empresas públicas (Gas, agua, energía eléctrica).*
- d) Aeropuertos.*
- e) Instituciones financieras.*
- f) Departamento de policía, entidades gubernamentales, etc.*

**2.1.b).- CONTINUIDAD DEL SERVICIO.-** *La energía eléctrica ha adquirido tal importancia en la vida actual, que una interrupción del suministro eléctrico causa trastornos y pérdidas económicas; para asegurar la continuidad del suministro, se deben de efectuar las disposiciones necesarias para hacer frente a una falla de algún elemento del sistema, de manera que se puede aislar esa falla, y así, poder hacer las reparaciones necesarias con un mínimo de tiempo y de zonas fuera de servicio.*

Los alimentadores primarios cuentan con puntos de interconexión, que cuando se tiene una emergencia permiten pasar parte o el total de la carga de un alimentador a otro, también con esos puntos de interconexión se puede limitar y aislar la zona que comprende la falla en la red de distribución.

A continuación se presentan términos marcados con conceptos teóricos para mejor explicación y entendimiento para poder regular.

### **2.1.3- CONCEPTOS TEORICOS.**

Dentro de la actividad de la ingeniería eléctrica en sistemas de distribución, al igual que en otras áreas, se requieren definiciones precisas como las siguientes:

**Caída de voltaje.** Es la diferencia entre el voltaje en el extremo de envío y el voltaje en el extremo receptor de una línea.

**Rango de voltaje.** Es el voltaje al cual se refieren las características de los aparatos.

**Voltaje de servicio.** Es el voltaje medido en las terminales de entrada de los receptores.

**Voltaje máximo.** Es el mayor promedio de voltaje en 5 minutos.

**Voltaje mínimo.** Es el menor voltaje promedio en 5 minutos.

**Variación de voltaje.** Es la diferencia entre el voltaje máximo y el voltaje mínimo, sin considerar las caídas de tensión originadas por los arranques de motores o bien por otras condiciones temporales.

**Regulación de voltaje.** Es el porcentaje de caída de tensión respecto al extremo receptor:

$$\text{REGULACIÓN \%} = \frac{V_e - V_r}{V_r} * 100$$

### **2.1.4.- TERMINOLOGÍA PARA LA DESCRIPCIÓN DE DISTURBIOS.**

Los términos usados para describir los disturbios frecuentemente tienen diferente significado para diferentes usuarios. Pero muchos atributos de calidad de energía son comúnmente reconocidos. A continuación se da una breve descripción de algunos de los disturbios más comunes.

#### **2.1.4.1.- Pico de voltaje.**

Es un incremento en el nivel de voltaje que dura microsegundos. Es debido principalmente por fallas en la red eléctrica, descargas atmosféricas y switcheo de grandes cargas. Ver Fig.13

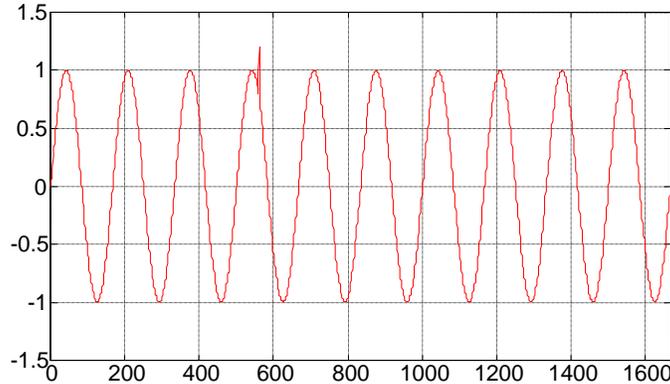
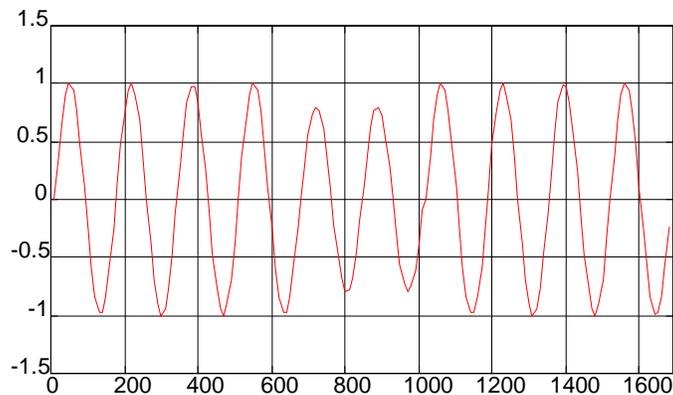


Fig. 13 Pico de voltaje

#### **2.1.4.2.- Depresión de voltaje (sags).**

Es un decremento momentáneo (varios ciclos de duración) en el nivel de voltaje. Es debido a la conexión de grandes cargas, descargas atmosféricas y fallas en la red eléctrica. Ver Fig. 14.



#### **2.1.4.3.- Dilatación de voltaje (swell).**

Es un incremento del voltaje de varios ciclos de duración. Es ocasionado por la desconexión de cargas grandes y no llega a ser un sobrevoltaje. Ver Fig. 15.

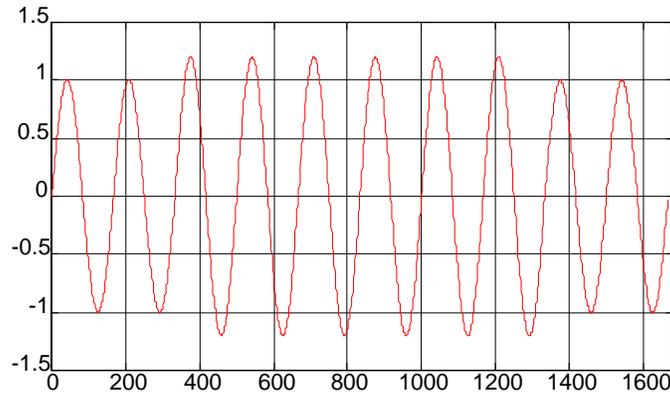


Fig. 15. Dilatación de Voltaje.

#### 2.1.4.4.- Sobrevoltaje.

Es una condición de voltaje elevado (arriba del valor nominal) que a diferencia del swell, dura mucho más tiempo. Es causado por una pobre regulación de voltaje. Ver Fig. 16.

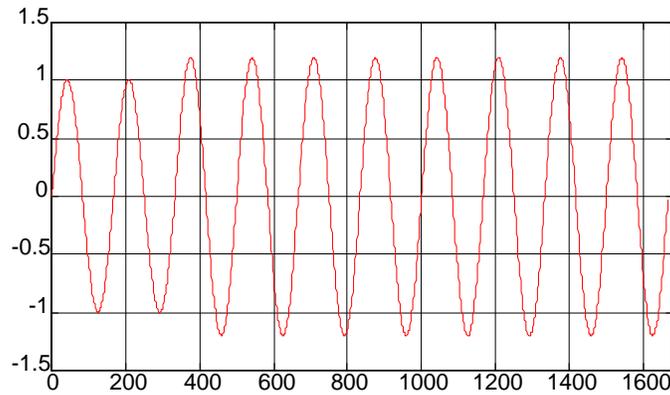


Fig. 16. Sobrevoltaje.

#### 2.1.4.5.- Parpadeo (flickers).

Se refiere a las fluctuaciones en el nivel de voltaje. Estas son debidas a la conexión de cargas cíclicas como hornos eléctricos o por oscilaciones subarmónicas (subarmónicas se refiere a señales de frecuencia menor a la fundamental). Por lo general este efecto se observa fácilmente en el cambio de intensidad bajo y alto de lámparas y ruido acelerado y desacelerado de motores. Ver Fig. 17.

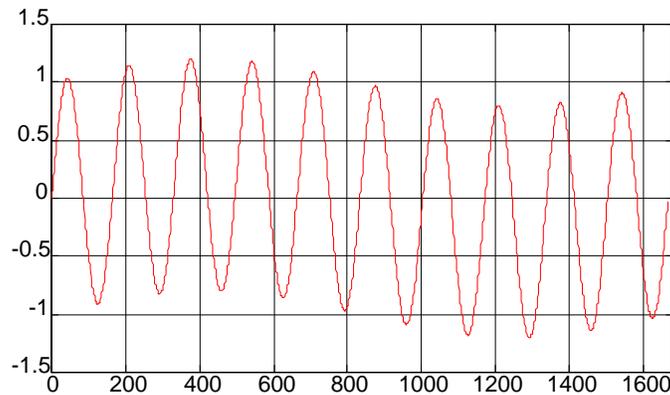


Fig. 17. Parpadeo.

#### 2.1.4.6.- Interrupciones de Energía.

Es la pérdida total de potencia. Por lo general se considera interrupción cuando el voltaje ha decrecido a un 15 % del valor nominal o menos. Este es debido a aperturas de líneas, daño de transformadores, operación de fusibles o equipos de protección de la red, entre otras posibilidades. También se consideran interrupciones de energía aquellas que duran milisegundos.

Ver Fig. 18

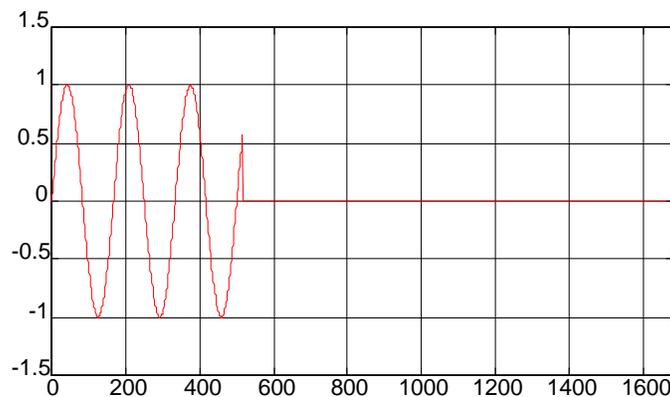


Fig. 18. Interrupción de energía.

#### 2.1.4.7.- Ruido Eléctrico.

Es la distorsión (no necesariamente periódica) de la forma senoidal del voltaje. Este es debido a switcheo, transmisores de radio y equipo industrial de arco eléctrico. Ver Fig.19.

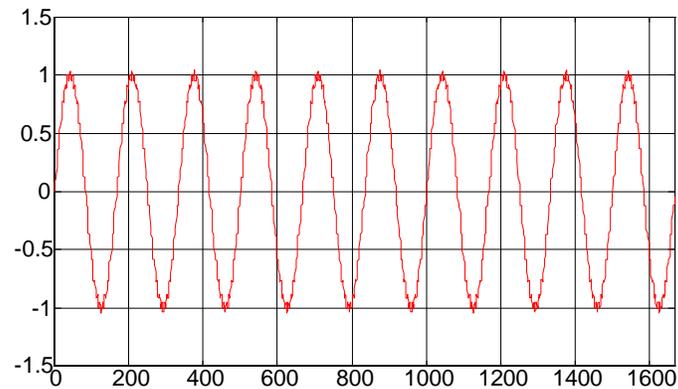


Fig. 19. Ruido eléctrico.

#### **2.1.4.8.- Distorsión Armónica.**

*Es la distorsión (periódica) de la forma de onda senoidal del voltaje o corriente. Esta es causada por la operación de equipos no lineales como lo son rectificadores y hornos de arco eléctrico. Este es un fenómeno en estado estable. Ver Fig. 20*

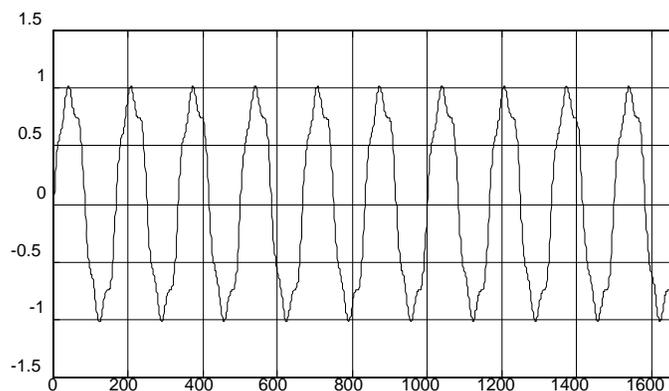


Fig. 20. Distorsión armónica

*Como se puede observar unos de los problemas más conocidos y que producen una gran cantidad de problemas por el efecto que produce son las armónicas, las cuales se tratarán en este curso.*

#### **2.1.4.9.- ARMÓNICAS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS.**

*La distorsión de formas de onda de corrientes y voltaje debida a las armónicas es uno de los fenómenos que afectan la confiabilidad del sistema y por lo tanto la calidad de la energía. El acoplamiento magnético, causa que algunas armónicas de frecuencias elevadas produzcan interferencia en los sistemas de comunicación, sobre todo en líneas telefónicas. Este problema no es nuevo, sin embargo, debido al notable incremento de cargas no lineales conectadas al*

sistema eléctrico, el nivel promedio de armónicas en el sistema eléctrico de potencia se incrementa cada día más. Las cargas no lineales son como hornos de arco y de inducción, así como de cargas controladas por dispositivos electrónicos tales como SCR's, transistores de potencia, etc. La disponibilidad y el relativo bajo costo de estos dispositivos han expandido en gran medida su uso en casi todo tipo de cargas industriales y comerciales.

Un factor menos extendido pero de importancia, que acentúa la inyección de armónicas en los sistemas eléctricos, es el drástico cambio de la filosofía del diseño del equipo utilizado en los sistemas eléctricos de potencia. En el pasado, los fabricantes tendían a diseñar la mayoría de sus equipos sobre rangos mayores al requerido. Ahora, con el objeto de ser competitivos, los equipos de potencia tienen que ser diseñados sobre rangos críticos, como en el caso de equipos con núcleo de hierro, esto significa que sus puntos de operación están cada vez más cerca de la característica no lineal, o sea, muy cerca de la saturación del núcleo, lo que resulta una clara fuente de armónicas.

Por lo anterior, el modelado de los elementos del sistema de potencia ante señales armónicas cada vez es más importante. De ésta manera, la modelación viene con los métodos de simulación los cuales son muy importantes debido principalmente a dos razones:

a) Investigar los problemas potenciales latentes en los sistemas eléctricos que se pueden presentar al conectar una gran carga no lineal.

b) Simular y probar perspectivas de solución a problemas existentes de una forma analítica.

De ésta manera, es deseable llevar a cabo un análisis de armónicas de un sistema eléctrico de potencia, así como se hacen estudios de flujos de carga, corto circuito, estabilidad y caída de tensión.

De lo anterior se observa la importancia del análisis armónico en las redes eléctricas debido a que las armónicas es un mal necesario.

### **2.1.c).- REGULACION DE LA TENSION.**

Para mantener los voltajes del circuito de distribución dentro de los límites permisibles es necesario tener bajo control, la tensión de suministro es decir, incrementar el voltaje en el circuito cuando es muy bajo y reducirlo cuando es muy alto. En los sistemas de distribución hay un gran número de recursos que pueden ayudar a la regulación de voltaje entre los que se encuentran los siguientes:

1.- Uso de los reguladores de voltaje de los generadores.

2.- *Instalación de equipo de regulación de voltaje en las subestaciones de distribución.*

3.- *Instalación de capacitores en las subestaciones de distribución.*

4.- *Balanceo de cargas en los alimentadores primarios.*

5.- *Incremento de la sección de los conductores.*

6.- *Cambio de la sección del alimentador de monofásica a polifásica (trifásica).*

7.- *Transfiriendo a cargas a nuevos alimentadores.*

8.- *Instalando nuevas subestaciones y alimentadores primarios.*

9.- *Incrementando el nivel de voltaje primario.*

10.- *Aplicando regulador de voltaje en los alimentadores primarios.*

11.- *Conectando capacitores en paralelo en los alimentadores primarios.*

12.- *Instalando capacitores serie en los alimentadores primarios.*

*La selección del camino a seguir depende básicamente de las necesidades del sistema en particular. Sin embargo, la regulación automática de voltaje siempre requiere actuar en tres niveles:*

1.- *Regulación en las barras de la subestación.*

2.- *Regulación individual del alimentador en la subestación.*

3.- *Regulación suplementaria a lo largo del alimentador principal por medio de reguladores montados en postes.*

*Las subestaciones de distribución están equipadas con transformadores que tienen cambiadores de taps con carga, es decir, que operan automáticamente en función de la carga. También puede haber reguladores de voltaje independientes para proporcionar la regulación de las barras en caso de que los transformadores no lo hagan.*

*Los aparatos reguladores de voltaje se diseñan para mantener automáticamente un nivel predeterminado de voltaje que no dependa de las variaciones de carga. Si ésta se incrementa, el regulador eleva el voltaje en la subestación para compensar el incremento de la caída de tensión en alimentador de distribución. Cuando los alimentadores son muy largos y los usuarios están muy alejados, puede ser necesario instalar capacitores en*

ciertos puntos del alimentador, para proporcionar una regulación suplementaria.

La experiencia muestra que es un ventajoso usar reguladores y capacitores en paralelo, tanto desde el punto de vista técnico como del económico.

Los capacitores en subestaciones eléctricas y en alimentadores permiten obtener un factor de potencia económico. Se entiende que los capacitores fijos no son reguladores de voltaje, sin embargo, si su número se modifica automáticamente, entonces es un regulador de voltaje discreto.

### **2.1.5.- COMPENSACIÓN DE LA CAÍDA DE TENSIÓN EN LA LINEA.**

Los reguladores de voltaje localizados en la subestación o sobre un alimentador se usaran para mantener el voltaje constante en un punto ficticio o punto de regulación sin considerar el valor del factor de potencia de la carga. El punto de regulación normalmente se considera o selecciona en algún lugar entre el regulador y el final del alimentador. La permanencia automática de este voltaje se logra por la calibración del dial de la resistencia variable y los elementos reactivos de la unidad llamada "compensador de caída de línea" (LINE DROP COMPENSATOR), localizada en el tablero de control del regulador de voltaje.

La determinación de la calibración del dial depende sobre todo de si hay o no alguna carga derivada del alimentador entre el regulador y el punto de regulación.

En caso de que no haya ninguna carga del alimentador entre el regulador y el punto de regulación, la  $r$  del dial calibrado del compensador de la caída de línea puede determinarse por la siguiente fórmula: ver formula 1 y 2.

Se debe hacer notar que las calibraciones de  $R$  y  $X$  se determinan para la carga conectada total, a diferencia de cuando es un pequeño grupo de consumidores, los valores de resistencia y reactancia de los transformadores no se incluyen en el cálculo de la resistencia y reactancia efectivos.

En caso de que no haya ninguna carga del alimentador entre el regulador y el punto de regulación, la  $R$  del dial calibrado del compensador de caída de línea puede determinarse por la siguiente formula:

$$R_{cal.} = \frac{I_{1N}}{R_{TP}} * R_{ef.}$$

Donde:

$I_{1N}$ : Corriente nominal del primario del transformador de corriente (por que la corriente secundaria es a 1Amp).

$R_{TP}$ : Relación de transformación del transformador de potencial.

*R<sub>ef</sub>*: Resistencia efectiva del conductor del alimentador, del regulador al punto de regulación, en óhms.

$$R_{ef} = r_a * \frac{l - S_1}{2}, \Omega$$

Donde:

*r<sub>a</sub>*: Resistencia específica del conductor del alimentador al punto de regulación, Ω/km. por conductor.

*S<sub>1</sub>*: Longitud del alimentador trifásico entre el sitio de instalación del regulador y la subestación, km. Si el alimentador es monofásico, la longitud se multiplica por dos.

*l*: Longitud del alimentador primario en km.

La reactancia del dial de calibración del compensador de caída de línea se determina por fórmula similar:

$$X_{cal.} = \frac{I_{1N}}{R_{TP}} * X_{ef.}$$

Donde:

*X<sub>ef.</sub>*: Reactancia efectiva del alimentador desde el regulador al punto de regulación en óhms.

$$X_{ef} = X_L * \frac{l - S_1}{2}, \Omega$$

$$X_L = X_a + X_d \Omega - km$$

*X<sub>a</sub>*: Reactancia inductiva de una fase individual de conductor del alimentador a 30 cm. espaciamiento, Ω - km.

*X<sub>d</sub>*: Factor de espaciamiento inductivo-reactivo, Ω - km.

*X<sub>L</sub>*: Reactancia inductiva del conductor del alimentador, Ω - km.

Se debe hacer notar que como las calibraciones de R y X se determinan para la carga conectada total, a diferencia de cuando es para un pequeño grupo de

consumidores, los valores de resistencia y reactancia de los transformadores no se incluyen en el cálculo de la resistencia y reactancia efectivos.

Por otro lado, en el caso de que la carga salga del alimentador entre el regulador y el punto de regulación, la resistencia calibrada del compensador de caída de línea puede determinarse por la siguiente ecuación, pero la determinación de la  $R_{ef}$  es más compleja. La resistencia efectiva pueda calcularse ahora como sigue:

$$R_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta V_R|_i}{|I_L|} \text{ , } \Omega$$

Donde:

$$\sum_{i=1}^n |\Delta V_R|_i = |I_{L,1}| * r_{a,1} * l_1 + |I_{L,2}| * r_{a,2} * l_2 + \dots + |I_{L,n}| * r_{a,n} * l_n, \text{ volts.}$$

$|\Delta V_R|_i$ : Caída de voltaje a causa de la resistencia de la línea en la  $i$ -ésima sección del alimentador entre el regulador y el punto de regulación en volts.

$|I_L|$ : Magnitud de la corriente de carga en el punto donde está instalado el regulador, A.

$|I_{L,i}|$ : Magnitud de la corriente de carga en la  $i$ -ésima sección, A.

$r_{a,i}$ : Resistencia específica del conductor del alimentador en la  $i$ -ésima sección,  $\Omega$  - km.

$l_i$ : Longitud de la  $i$ -ésima sección del alimentador, km.

También la reactancia calibrada del compensador de caída de línea puede calcularse:

$$X_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta V_x|_i}{|I_L|} \text{ , } \Omega$$

Donde:

$$\sum_{i=1}^n |\Delta V_x| = |I_{L,1}| \cdot X_{L,1} \cdot I_1 + |I_{L,2}| \cdot X_{L,2} \cdot I_2 + \dots + |I_{L,n}| \cdot X_{L,n} \cdot I_n, \text{ volts.}$$

$\sum_{i=1}^n |\Delta V_x|$ : Caída de voltaje a causa de la reactancia de línea del alimentador entre el regulador y el punto de regulación.

$|\Delta V_x|$ : caída de voltaje a causa de la reactancia de la línea en la  $i$ -ésima sección del alimentador entre el regulador y el punto de regulación en volts.

$|I_L|$ : Magnitud de la corriente de carga en el punto donde está instalado el regulador, A.

$|I_{L,i}|$ : Magnitud de la corriente de carga en la  $i$ -ésima sección, A.

$X_{L,1}$ : Reactancia inductiva del conductor del alimentador en la  $i$ -ésima sección,  $\Omega$  - km.

$l_i$ : Longitud de la  $i$ -ésima sección del alimentador. Km.

Como el método descrito para determinar  $R_{ef}$  y  $X_{ef}$  es algo complejo, lo que se recomienda un método práctico que consiste en medir  $I_L$ , el voltaje en el regulador y el voltaje en el punto de regulación. La diferencia entre los dos voltajes es la caída de voltaje total entre el regulador y el punto de regulación.

$$\Delta V = |I_L| \cdot R_{ef} \cdot \cos \alpha + |I_L| \cdot X_{ef} \cdot \sin \alpha, \text{ volts.}$$

De la ecuación anterior se determina fácilmente los valores de  $R_{ef}$  y  $X_{ef}$ . si se conocen el factor de potencia del alimentador y la relación  $X/R$  entre el regulador y el punto de regulación.

### **2.1.5.1.- FACTORES QUE LIMITAN EL AJUSTE PARA COMPENSAR POR LDC. CONTROLES DE AJUSTE PARA $U_R$ Y $U_X$ .**

Los controles  $u_r$  y  $u_x$  en conjunto se les denomina compensador de la caída de tensión de línea (LDC) y sirve para reproducir la caída de tensión de una línea que sale del regulador y cuya tensión en el otro extremo se pretenda mantener constante independientemente de la carga.

Para ajustar los valores del LDC se realiza el cálculo siguiente:

FORMULA 1  $U_R = (V_{PTC}) \cdot (V_{STP}/V_{PTP}) \cdot R \cdot L \text{ (VOLTS)}$

FORMULA 2  $U_X = (V_{PTC}) \cdot (V_{STP}/V_{PTP}) \cdot X \cdot L \text{ (VOLTS)}$

*UR = Caída de tensión óhmica.*

*UX = Caída de tensión inductiva.*

*INOM = Corriente nominal de la carga en el punto de toma.*

*IPTC = Corriente primaria del transformador de corriente.*

*VPTP = Voltaje primario del transformador de voltaje.*

*VSTP = Voltaje secundario del transformador de voltaje.*

*R = Resistencia óhmica específica por fase (OHM/KM) de la línea.*

*X = Inductancia específica por fase (OHM/KM) de la línea.*

*L = Longitud de la línea.*

*1.-La frecuente redistribución de carga en los alimentadores de Luz y Fuerza, hace imposible definir un centro de carga y considerar distancias fijas sino que varía de acuerdo al ciclo de carga diaria y cuya variación es entre 1/3 a 1/2 de la longitud total del alimentador.*

*2.- El estado de algunos conductores en la red de distribución de 23 kV, los lleva a diferentes valores de resistencia y reactancia de las especificadas en tablas.*

*3.- La falta de información disponible de los diferentes calibres y sus longitudes hasta el punto a compensar.*

*4.- Diferentes longitudes de alimentadores regulados desde un mismo equipo.*

*Por lo anterior, sería muy laborioso y difícil conocer la caída de voltaje en la línea de un alimentador, por los diferentes calibres de que se compone y por el constante crecimiento y modificaciones de carga en la red de distribución.*

*En la red de distribución de LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, no se puede usar un método exacto para la determinación de los valores apropiados de compensación*

*Para el buen funcionamiento de una red de distribución, se debe de tomar en cuenta lo siguiente:*

### **2.1.6.- DEFINICIONES.**

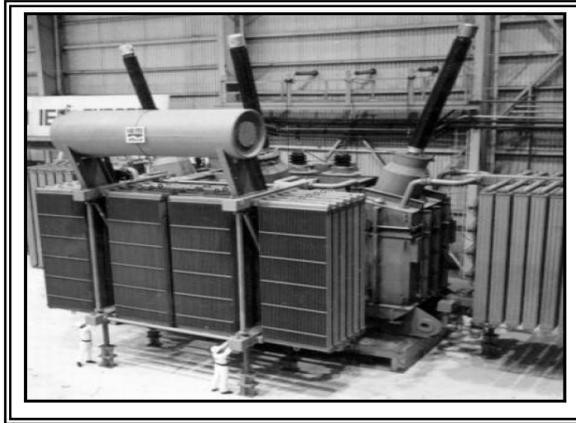
*Para comprender en parte los conceptos que se mencionan a continuación se describen de manera breve.*

### **2.1.6.1.- BANCOS.**

*Es un transformador o un grupo de transformadores monofásicos que se emplean para reducir el voltaje de transmisión o subtransmisión a valores nominales de distribución. En el caso de LYF la reducción es a 23 kV.*

*T221 - Banco de 230 kV en el lado primario y 23 kV en el lado secundario*

*T82 - Banco de 85 kV en el lado primario y 23 kV en el lado secundario. Ver. Fig.21.*



**FIG. 21 BANCO DE POTENCIA**

### **2.1.6.2.- CAMBIADOR AUTOMÁTICO DE DERIVACIONES BAJO CARGA.**

*Es un conjunto de devanados de un auto-transformador conectados entre si por una serie de pasos o taps los cuales permiten modificar la conexión entre estos, variando en forma directamente proporcional el valor de voltaje obtenido de dicho auto transformador. La condición normal en un cambiador automático de derivaciones se establece cuando los cambios de dichos taps se efectúan automáticamente a través de un motor cuya flecha va ensamblada al cambiador de taps y la operación de dicho motor es gobernada en forma automática por un control de nivel de voltaje el cual se ajusta a valores deseados para la compensación requerida.*

### **2.1.6.3- REGULADOR.**

*Es un equipo que opera similar al anterior, la diferencia entre uno y otro estriba en que el cambiador automático de derivaciones bajo carga va integrado al banco de potencia en el lado del primario y el regulador de voltaje se instala en forma independiente al banco trifásico o bancos monofásicos y se regula del lado del secundario, en este caso en 6 y 23 kV. Ver. Fig.22.*



FIG. 22 REGULADOR MK-20

#### **2.1.6.4.- ALIMENTADOR.**

*Es un circuito radial de energía eléctrica que suministra el servicio a uno o varios usuarios que normalmente esta conectado a una sola subestación o interconectado a alimentadores de otras, subestaciones a través de dispositivos de seccionamiento normalmente cuchillas.*

#### **2.1.6.5.- MANUAL.**

*Es un estado o condición en el cual un equipo electromecánico efectúa su funcionamiento con la ayuda de los medios y sentidos del ser humano. En el caso de la regulación se denomina operación manual cuando el motor del regulador o del cambiador automático de derivaciones debe efectuar la operación para cambiar de un tap a otro, es necesario que en el gabinete del cambiador de derivaciones se inserte una palanca de cran para efectuar treinta y tres vueltas manualmente para que se dé el cambio de un punto de derivación a otro.*

#### **2.1.6.6.- ELÉCTRICO - MANUAL.**

*Es un estado o condición en el cual un equipo electromecánico efectúa su funcionamiento con la ayuda de un motor controlado por un ser humano. En el caso de la regulación, se dice que un regulador o cambiador automático de derivaciones trabaja en eléctrico -manual cuando para efectuar un cambio de un paso a otro ya sea para subir o bajar el voltaje, es suficiente con accionar un botón colocado en el gabinete de dicho regulador y es en ese momento cuando el motor acciona en vueltas y tiempo necesario para efectuar el cambio de un tap a otro.*

### 2.1.6.7.- RÉGIMEN.

Se dice que un banco esta trabajando a régimen cuando su regulador o cambiador automático de derivaciones esta en forma eléctrico manual a un nivel de voltaje preestablecido.

### 2.1.6.8.- AUTOMÁTICO.

Es un estado o condición en el cual un equipo electromecánico efectúa su funcionamiento sin la ayuda ni supervisión del ser humano. Se dice que un regulador o cambiador automático de derivaciones de un banco esta trabajando en automático cuando en las perillas de ajuste de su control, la que corresponde al selector de operación **OFF-MANUAL-AUTOMATICO**, esta posesionada en "automático" bajo esta condición, el equipo regirá su operación automática mente a los valores a los que se haya efectuado el ajuste para la compensación. Ver. Fig.23.



FIG. 23 SELECTOR DE OPERACIÓN (OFF-MANUAL-AUTOMATICO)

### 2.1.6.9.- RESISTENCIA.

Es la oposición al flujo de la corriente eléctrica en un circuito o conductor. Bajo esta condición el mencionado circuito sufre pérdidas que se ven reflejadas por una caída de voltaje que va aumentando mientras mayor sea la distancia y resistencia del circuito. Ver. Fig.24.



FIG. 24 SELECTOR DE  $V_R$

### 2.1.6.10.- REACTANCIA.

Es la oposición al flujo de la corriente eléctrica en un circuito o conductor provocada por efectos inductivos o capacitivos existentes a lo largo del mencionado circuito. Esto da origen a pérdidas que se ven reflejadas en caídas de voltaje. Ver. Fig.25.

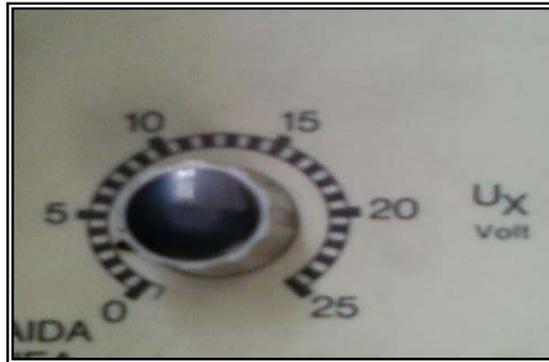


FIG. 25 SELECTOR DE  $V_x$

### 2.1.6.11.- TIEMPO (TIME).

Es el tiempo en segundos al cual se ajusta la operación del cambio de un tap a otro en un cambiador de derivaciones. Ver .Fig.26.



FIG. 26 SELECTOR DE TIEMPO DE OPERACIÓN

### 2.1.6.12.- NIVEL DE VOLTAJE.

Es una perilla graduada con escala de 0-150 volts la cual sirve para ajustar y definir el voltaje al cual se desea trabajar el cambiador de derivaciones o regulador en forma automática. Ver. Fig.27.



FIG. 27 SELECTOR DEL NIVEL DE VOLTAJE

*El RRV (RELEVADOR REGULADOR DE VOLTAJE) mide el voltaje en el punto de regulación (VPR) por medio del compensador de caída de línea (CCL). El CCL tiene calibraciones de resistencia y reactancia  $R$  y  $X$  que se pueden ajustar en un rango de 0 a 24 ambas. La corriente de los TC usados en los reguladores de voltaje tienen 1 amp. Secundario, por lo que el valor de la resistencia corresponde al valor en volts.*

*Sobrecarga de los reguladores del alimentador. Según las normas ANSI los reguladores deben de tener la capacidad de sobrecarga indicada en el cuadro en los casos de que se reduce el rango de regulación. Todos los reguladores actuales tienen los ajustes necesarios para reducir el rango con el que el motor puede accionar el cambiador de taps del mecanismo de conmutación. En ocasiones es ventajoso usar la capacidad de sobrecarga del rango de operación, pero no debe olvidarse que en caso de que se presente una sobrecarga es posible que no tenga la suficiente capacidad de regulación.*

*De la subestación es necesario saber los voltajes con las fluctuaciones de sub-transmisión que la alimentan; la capacidad de los transformadores, sus voltajes, impedancias y el rango de regulación con el número de taps.*

*Es necesario a si mismo establecer el voltaje máximo que se presenta durante la carga mínima y el voltaje mínimo durante la carga máxima; deben considerarse también los factores de potencia carga mínima y en carga pico. En otras palabras, se deben estudiar los flujos de carga y su influencia en la variación de voltaje.*

*Se aplican los criterios referentes a los niveles de voltaje, por ejemplo, en el alimentador referido a 120 V, el voltaje máximo puede ser 125 V, el mínimo 116 v y la caída de tensión máxima en los secundarios no mayor a 4 V. si se quiere tener un voltaje mínimo de 112 V en el último usuario las condiciones anteriores son correctas.*

*Por último, son necesarios los datos del alimentador con su carga, su sección transversal, material, resistencia, reactancia, longitud, factor de potencia.*

#### **2.1.6.13.- ANCHO DE BANDA.**

*Es el margen al cual se ajusta el tiempo de operación del cambiador de derivaciones para empezar a trabajar de acuerdo a incrementos o decrementos de voltaje provocados por el aumento o disminución de la carga en el banco de potencia.*

*El ancho de banda (ab) de los reguladores del RRV se ajusta en el rango de +/- .75 v a +/-1.5 con base en 120 V. la localización del punto de regulación (PR) se controla por los valores de X y R del CCL. Si las calibraciones de R y X son cero, el punto de regulación corresponde al punto de instalación del regulador y ahí se mantendrá el voltaje del RRV +/- AB.*

#### **2.1.6.14.- No. DE OPERACIONES.**

*Es la cantidad numérica de los cambios de taps efectuados por el cambiador automático de derivaciones o regulador, las cuales quedan registradas en un contador insertado en el gabinete del motor de dicho cambiador.*

#### **2.1.6.15.- PERMISO.**

*Es la autorización que dan los O.S., O.C., y O.D. a una persona de la compañía para que la misma o el personal que esta bajo su control ejecute trabajos en lugares peligrosos dentro de las estaciones o fuera de ellas en lugares próximos a los circuitos eléctricos.*

O.S. OPERADOR DE SISTEMA.  
O.C. OPERADOR DE CIUDAD.  
O.D. OPERADOR DIVISIONAL.  
O.E. OPERADOR DE ESTACIÓN.

*Disminución de carga en un banco de potencia.*

*Para realizar en la práctica la regulación automática de voltaje en un sistema de distribución es necesario conocer varios datos para evaluar y realizar los cálculos correspondientes.*

## **2.2.- NORMAS Y REGLAMENTOS.**

### **ANSI C84 – 1- 1989.**

*Los límites de tolerancia en tensiones están basados en la Norma ANSI C84-1989. En esta norma se indican las tolerancias de +/- 10% de tensión permitidas para motores. Ya que los motores representan el mayor de los*

*equipos de utilización en sistemas de distribución industrial, se le ha dado consideración primordial para el establecimiento de las tolerancias normalizadas.*

*La mejor forma de mostrar las tensiones en un sistema eléctrico de distribución es utilizando la base de 120 V. Esto cancela las relaciones de transformación entre sistemas, de tal forma que el voltaje real varía solamente originado por las caídas de tensión en el sistema. Cualquier tensión puede ser convertida a una base 120 volts mediante la división del voltaje real entre la relación de transformación a la base de 120 volts. Por ejemplo, la relación de un sistema de 480 V es  $480/120 = 4$ , por lo que para una tensión de 460 V en un sistema de 480 V será  $460/4 = 115$  V en la base de 120 V.*

*Los límites de tolerancia de un motor de 460 V en la base de 120 V se vuelven 115 V más 10% ó 126.5 V y 115 V menos 20% ó 103.5 V. El problema es decir como esta tolerancia de 23 V debe ser dividida entre el sistema de distribución primario, el transformador de distribución y el sistema de distribución secundario, el cual puede elevar la regulación del sistema de distribución. La solución se muestra en la tabla 2.*

*Los límites de tolerancia del motor sobre la base de 120 V de 126.5 máximo fueron elevados de 0.5 V a 127 V máximo y 104 V mínimo para eliminar el Volt fraccionario. Estos valores representan los límites de tolerancia para la carga B. Se asignó 13 V de caída en el sistema de distribución primario, estableciendo un mínimo de 114 V para la tensión primaria de servicio. Se permitió 4 V de caída en el transformador de distribución resultando en 110 V la tensión mínima de suministro. El valor resultante de 6 V, ó 5%, fue hecho para coincidir con el valor de caída de tensión que el National Electric Code exige.*

*El límite del rango A fue establecido para reducir los límites de tolerancia de 127 V a 126 V e incrementar el límite de tolerancia mínima de 104 V a 108 V. este ancho de banda de 18 V fue entonces distribuido como sigue: 9 V a la caída de tensión máxima del alimentador de distribución del primario, para proporcionar una tensión mínima de 117 V; 3 V para la caída de tensión en el transformador de distribución, para tener una tensión mínima de 114 V; 6 V para la caída de tensión del cableado del usuario para tener una tensión mínima de utilización de 108 V.*

*TABLA No. 1.- Perfil normalizado para un sistema regulado de distribución de potencia, base 120 Volts.*

*\* Para tensión de utilización de 120 a 600 V.*

*+ Para circuitos de alumbrado.*

	RANGO A (VOLTS)	RANGO B (VOLTS)
<b>TENSIÓN MÁXIMA PERMITIDA.</b>	126 (125*)	127
TOLERANCIA PARA LA CAÍDA TENSIÓN LÍNEA PRIMARIA DE DISTRIBUCIÓN.	9	13
MÍNIMA TENSIÓN PRIMARIA DE SERVICIO.	117	114
TOLERANCIA PARA LA CAÍDA DE TENSIÓN EN EL TRANSFORMADOR.	3	4
MÍNIMA TENSIÓN SECUNDARIA DE SERVICIO.	114	110
TOLERANCIA PARA EL CABLEADO SECUNDARIO	6 (4+)	6 (4+)
MÍNIMA TENSIÓN DE UTILIZACIÓN	108 (110+)	104 (106+)

### 2.2.1.- PERFIL DE TENSIONES DE LOS LÍMITES DE RANGO

NOTA: TENSIONES USADAS PARA ESTE EJEMPLO

MEDIA TENSIÓN	13800 V
BAJA TENSIÓN	480 V

### 2.2.2.- PERFIL DE TENSIONES PARA UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN REGULADO.

La figura 3 muestra el perfil de tensiones usando los límites del rango A de la tabla 2. Suponiendo una tensión de distribución primaria de 13,800 V, el rango A de la tabla 2 pide que esta tensión sea mantenida para proporcionar un máximo de 126 V y un mínimo de 117 V en la base de 120 V. y aunque el multiplicador para convertir del sistema de 120 V al de 13,800 V es  $13,800/120 = 115$  kV el límite de tensión para el sistema de 1,380 es de  $115 \times 126 = 114,490$  V máximo y  $115 \times 117 = 13,460$  V mínimo.

Si un transformador de distribución con relación de 13,800/480 V se conecta en un alimentador de 13,800 V la tabla No. 2 rango A, requiere que la tensión secundaria de servicio de 480 V sea mantenida por la compañía suministradora entre un máximo de 126 V y un mínimo de 114 V a una base de 120 V Puesto que la base multiplicadora es  $480/120 = 4$ , el valor real de  $4 \times 126 = 504$  V máximo y  $4 \times 114 = 456$  V mínimo.

### **2.2.3.-TENSIÓN NORMALIZADAS PARA EQUIPOS Y SISTEMAS ELÉCTRICOS (60Hz.) NMX-J-98.**

#### **2.2.3.1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN:**

*Esta Norma Mexicana establece los valores de tensiones nominales de sistema, servicio y utilización, aplicables en toda la República Mexicana; así como, las tolerancias de operación para dichos valores a una frecuencia de 60 Hz. y tensiones mayores de 100 V y hasta 400 kV.*

*El propósito de esta Norma es:*

- (1) *Lograr un mejor conocimiento de las tensiones que están asociadas con sistemas eléctricos, a fin de lograr una operación y diseño económicos.*
- (2) *Establecer una nomenclatura uniforme, en cuanto a la terminología utilizada para las tensiones.*
- (3) *Establecer una normalización de tensiones nominales y sus tolerancias para la operación de sistemas eléctricos.*
- (4) *Establecer una normalización de clases de tensiones de equipos y sus tolerancias.*
- (5) *Coordinar las tensiones de sistemas con las de servicio y utilización; así como, sus tolerancias.*

- (6) *Establecer las bases para el desarrollo y diseño de equipo; a fin de lograr una mejor armonización, de acuerdo a las necesidades de los usuarios.*
  
- (7) *Proveer una guía, con respecto a la selección de tensiones para la exigencia de nuevos sistemas eléctricos y para cambios en los existentes.*

#### **2.2.3.2.- REFERENCIAS:**

*Para la correcta aplicación de esta norma, es necesario consultar y aplicar las siguientes Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas vigentes:*

<i>NOM-001-SEMP</i>	<i>Relativa a las instalaciones destinadas al suministro y uso de la energía eléctrica.</i>
<i>NOM-008-SCFI</i>	<i>Sistema general de unidades de medida.</i>

#### **2.2.3.3.- DEFINICIONES.**

##### **2.2.3.3.a).- SISTEMA ELÉCTRICO.**

*El sistema al cual se conectan los equipos utilizados para distribuir energía eléctrica de la fuente al equipo de utilización. Parte del sistema puede pertenecer al suministrador o al usuario.*

##### **2.2.3.3.b).- TENSIÓN DEL SISTEMA.**

*Es la tensión entre dos puntos de cada una parte del sistema eléctrico de corriente alterna. Cada sistema de tensión o de tensiones, pertenece a una parte del sistema que está limitado por transformadores o equipo de utilización, todas las tensiones son a partir de la raíz cuadrática media de fase a fase, o fase a neutro.*

#### **2.2.3.3.c).- TENSIÓN NOMINAL DEL SISTEMA.**

*Es la tensión por la cual una parte del sistema está designado y el cual opera con alguna de las características del mismo y al que está relacionado.*

#### **2.2.3.3.d).- TENSIÓN DE SERVICIO.**

*Es la tensión en el punto donde el sistema eléctrico del suministrador y el usuario se conectan.*

#### **2.2.3.3.e).- TENSIÓN DE UTILIZACIÓN.**

*Es la tensión en las terminales de línea del equipo de utilización.*

#### **2.2.3.3.f).- TENSIÓN NOMINAL DE UTILIZACIÓN.**

*Es el valor de tensión de ciertos equipos de utilización usados en el sistema.*

*Las tensiones nominales del sistema contenidas en la tabla 1, se aplican a todas las partes del mismo; tanto para el suministrador como para el usuario. Los rasgos se dan separadamente para la tensión de servicio y la tensión de utilización, siendo éstas normalizadas para diferentes lugares. Se entiende que la tensión en los puntos de utilización es menor que en el punto de suministro.*

*Atendiendo a esto último, y al hecho de que la potencia integral de los motores, o los equipos de aire acondicionado y refrigeración, o ambos, pueden constituir una alta concentración de carga en algunos circuitos, los índices de tales equipos y de los motores y su sistema de control son generalmente más bajos que la tensión nominal del sistema. Esto corresponde al rango de tensiones de utilización de la tabla 1. Otro equipo de utilización es generalmente referido a la tensión nominal del sistema.*

#### **2.2.3.4.- CLASE DE TENSIÓN DEL SISTEMA.**

**BAJA TENSIÓN.-** *Es la clase de tensión nominal del sistema de 1000 V o menos.*

**MEDIA TENSIÓN.-** *Es la clase de tensión nominal del sistema mayor que 1000V y hasta 34,500 V.*

**ALTA TENSIÓN.-** *Es la clase de tensión nominal del sistema mayor a 34,500 V e igual o menor que 230,000 V.*

**EXTRA ALTA TENSION.**- Es la clase de tensión nominal del sistema mayor a 230,000 V.

**TENSIONES PREFERENTES.**- Son aquellas que se deben usar en todo el sector eléctrico.

**TENSIONES RESTRINGIDAS.**- Son aquellas que debido al grado de desarrollo y al valor de las instalaciones, no es posible eliminarlas, siendo inevitable en el futuro aceptar algunas ampliaciones a las mismas.

**TENSIONES CONGELADAS.**- Son aquellas que se van eliminando progresivamente hasta su desaparición, operando la tensión, preferente más próxima.

### **2.2.3.5.- LEY DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGIA ELECTRICA**

#### **DEL SUMINISTRO Y LA VENTA DE ENERGIA**

**Art. 18.- el suministrador de vera ofrecer y mantener el servicio en forma de corriente alterna en una, dos o tres fases, a las tensiones altas, media o baja, disponibles en la zona de que se trate, observando lo siguiente:**

**I.- Que la frecuencia sea de 60 Hertz, con una tolerancia de 0.8 por ciento en más o en menos.**

**II.- Que las tolerancias en el voltaje de alta, media o baja tensión no excedan de diez por ciento en más o en menos y tiendan a reducirse progresivamente.**

**Art.19.- En los casos en el que el suministrador tenga disponibilidad en dos o mas tensiones para dar el suministro, se atenderá a lo dispuesto en el artículo 12.**

**Art.20.- El suministrador dará el suministro a todo el que lo solicite, previo cumplimiento de las disposiciones aplicables, sin preferencia alguna dentro de cada clasificación tarifaria, salvo que exista impedimento técnico o razones económicas que lo impidan. El suministro de vera proporcionarse en la tarifa que resulte aplicable, con base en la información que proporcione el usuario, al cual, en su caso, se le brindara la orientación necesaria por el suministrador.**

**Se considera que existe impedimento técnico, cuando se requiere el suministro en condiciones que se aparten de las indicadas en el articulo 18 y el suministrador no pueda satisfacerlas, así como en los casos en que este pueda abastecer de energía eléctrica únicamente en forma limitada o con**

restricciones, o que el plazo para iniciar el suministro exceda al requerido por el usuario.

Se considera que existen razones económicas que impiden el suministro cuando el suministrador tenga que construir obras específicas adicionales a las existentes, en los términos del reglamento a los que se refiere el artículo 12 y el solicitante no este conforme en cubrir al suministrador dicho concepto.

Art.21.- Cuando de acuerdo con los programas aprobados por la secretaria, el suministrador requiera modificar la alta ó media tensión del suministro, notificara con 180 días de anticipación, cuando menos a la, fecha de iniciación de los trabajos correspondientes, a cada uno de los usuarios que pudieran ser afectados, informando les la nueva tensión del suministro y el plazo y términos en que se hará la modificación  
El suministrador deberá celebrar con cada uno de los usuarios afectados el convenio correspondiente, en el que se precisara:

1.- La obligación del suministrador de pagar una indemnización al usuario en proporción al costo del equipo de la subestación de este que deba sustituirse o adecuarse con motivo de la modificación a la tensión o al tiempo de utilización del mismo.

El importe de dicha indemnización será del cincuenta por ciento del costo del nuevo equipo, si el existente tuviera 5 años o menos de utilización, y del 33 %, si el equipo existente tuviera entre 5 y 10 años de utilización. El suministrador quedara exento de la obligación de indemnizar, si los equipos del usuario tuvieran 10 años de utilización. Las partes determinaran de mutuo acuerdo el costo del nuevo equipo y la, indemnización se pagara mediante compensaciones del suministrador del cincuenta por ciento o del 33 %, según, los casos, en las facturaciones correspondientes por consumo eléctrico, hasta cubrir la indemnización.

La capacidad, de transformación máxima indemnizar no podrá exceder el valor de la, carga contratada en los términos del artículo 44, tomando como base las capacidades de transformación comercial excluyéndose los equipos de reserva y capacidad excedente.

Para definir los años de utilización del equipo de una subestación, se tomara como base la fecha en que se conecto el suministro para ese equipo.

II.- La obligación adicional del suministrador de eximir al usuario del pago de aportaciones por las obras que se requieren para proporcionar el suministro de la nueva tensión;

III.- El plazo requerido para efectuar las obras a cargo del suministrador.

IV.- La conformidad del usuario en la adquisición, e instalación de los equipos correspondientes a ala nueva tensión en el plazo establecido conforme a la fracción anterior.

V.- Las condiciones en que se prestara el servicio al usuario durante el periodo de transición, en tanto se modifica la tensión.

VI.- La obligación a cargo del usuario de celebrar nuevo contrato de suministro, cuando la modificación de la tensión origine cambio de la tarifa aplicable.

Art.28.- cuando el suministro se de en media tensión o alta tensión, se procederá como sigue:

I.- El suministrador hará las obras que resulten necesarias para la conexión del suministro hasta el límite del inmueble del usuario. Para la construcción de dichas obras se estará a lo que establezca el reglamento a que se refiere el artículo 12;

II.- El usuario instalara la subestación requerida con la capacidad adecuada para satisfacer sus necesidades;

III.- El usuario construirá las obras necesarias dentro de su inmueble para recibir la acometida y para que el suministrador instale los equipos de medición correspondientes. En subestaciones compactas, el usuario instalara un gabinete adicional. Si las condiciones de la subestación del usuario impiden la instalación del gabinete adicional, el usuario construirá una estructura con sus accesorios para recibir y sujetar la acometida y los equipos de protección y medición del suministrador, de acuerdo con las especificaciones de este.

#### **2.2.3.6.- REGLAMENTO DE OPERACIÓN.**

Las labores de los operadores sistema y de los operadores ciudad consisten principalmente en:

301.- Conservar la continuidad del servicio eléctrico a los consumidores.

302.- Asignar cargas y voltajes a las estaciones y líneas.

303.-Ordenar maniobras generales, tales como conexión y desconexión de generadores, transformadores, líneas, etc.

304.- Cuidar que el equipo no se sobrecargue, es decir, que no sobrepase sus limites de seguridad, sin embargo, en casos de emergencia, podrán fijarse límites de sobrecarga por corto tiempo.

306.- Cuando una maniobra en la red de distribución produzca un cambio importante de carga entre estaciones, el operador ciudad debe consultar al operador sistema antes de efectuarla.

307.- En caso que haya que hacer interrupción o reducción de carga en la red de distribución por causas ajenas a la misma, el operador sistema esta autorizado para ordenar la apertura de circuitos de distribución, quedando bajo su responsabilidad el restablecimiento del servicio.

308.- Informar con toda anticipación posible al personal de otros sistemas cuando el equipo de estos vaya a ser afectado por maniobras en el equipo de la compañía.

**309.- El ajuste y compensación de los reguladores de voltaje de los alimentadores esta a cargo del departamento de distribución. El mantenimiento de estos reguladores esta a cargo de operación-mantenimiento.**

**Los operadores sistema y operación ciudad deben reportar al departamento correspondiente cualquier anomalía que se note en el funcionamiento de los reguladores, dando a los operadores de estación las instrucciones necesarias para mantener el voltaje correcto en caso de falla del control automático.**

#### **2.2.4.- DESCRIPCION DE REGULACION.**

En las subestaciones de distribución, esta regulación se suele realizar mediante reguladores individuales de voltaje del alimentador, o bien, por medio de equipo automático de conmutación de tomas de carga de los transformadores de la subestación. Los reguladores individuales de voltaje del alimentador resultan ventajosos en aquellos casos en que, desde la misma barra común de distribución de la subestación, se da servicio a alimentadores de longitudes diferentes y de diversas características de carga. El equipo automático de conmutación de tomas de carga en el transformador de potencia proporciona control de voltaje en la barra común de distribución de la subestación, o sea, regulación del grupo, en los casos en que las longitudes de los alimentadores y las características de carga son razonablemente homogéneas.

Se necesita control de voltaje no sólo para compensar la regulación del voltaje en el sistema de sub-transmisión y el transformador de la subestación, que se puede medir en esta última, si no también la regulación de voltaje que se tiene en los transformadores de distribución y en los sistemas primarios y secundarios que se encuentran más allá de la subestación. La última parte de la regulación total del voltaje del sistema es función del flujo de la carga y de las impedancias del propio sistema y no se puede medir de modo directo en la

subestación. Por lo tanto, los sistemas de control de los reguladores de voltaje o del equipo de conmutación de las tomas de carga no sólo detectan el voltaje de la subestación sino también suelen contener un compensador de caída en línea, el cual simula la caída de voltaje entre la estación y algún punto en el sistema de distribución y controla en consecuencia el equipo de regulación. Ver **grafico 1**.

Los bancos de capacitores en derivación con conmutación a veces se instalan en la subestación de distribución como parte del control global de voltaje del sistema.

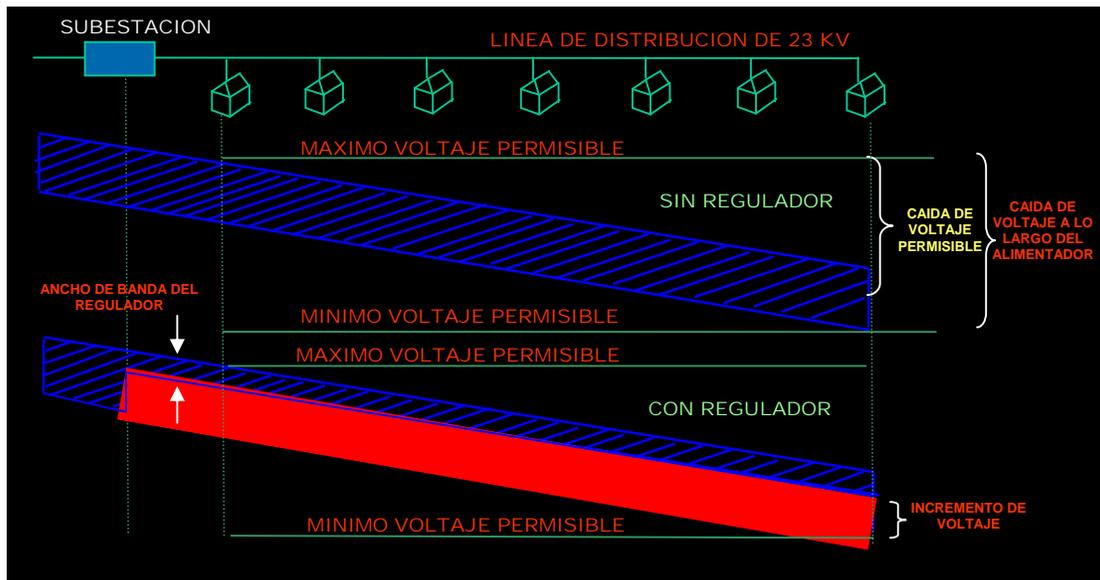


GRAFICO 1 CAIDA DE VOLTAJE A LO LARGO DEL ALIMENTADOR SIN Y CON REGULADOR DE VOLTAJE INSTALADO DESDE LA SUBESTACIÓN.

## 2.2.5.- MODELOS DE REGULADORES.

Dentro de LUZ Y FUERZA DEL CENTRO existe una variedad de modelos de reguladores desde analógicos hasta digitales de los cuales se mencionan los siguientes:

ASEA  
PATAM  
MK-20  
MK-30  
VC-100-BU  
M-2001B  
TREE TECH

TAPCOM-230  
FUJI



*Estos reguladores se usan extensamente para mantener el voltaje de alimentadores individuales razonablemente constante en el punto de utilización. Pueden ser de tipo inducción o de tipo escalón, aunque los primeros prácticamente han sido desplazados por los segundos.*

*Los reguladores de voltaje de escalón o discretos pueden ser de tipo estación monofásicos y trifásicos, para usarse en subestaciones para la regulación de barras colectoras o para la regulación en el alimentador individual. También pueden ser de tipo distribución, los cuales son siempre monofásicos, para instalarse en postes de alimentadores aéreos.*

*Los reguladores de escalón monofásicos pueden tener capacidades desde 25 hasta 833 kVA, mientras que los trifásicos van de 500 a 2000 kVA. En algunas unidades su capacidad se incrementa de 25 a 33% utilizando enfriamiento de aire forzado. Los rangos de voltaje disponibles van desde 2.4 hasta 19.920 kV y permiten reguladores para ser empleados en circuitos de distribución desde 2.4 hasta 34.5 kV.*

*Los reguladores de voltaje de tipo estación de escalón para la regulación del voltaje del bus pueden ser para más de 69 kV.*

*Un regulador de voltaje de tipo escalón es básicamente un auto transformador con muchas derivaciones (taps) en las bobinas serie. La mayoría de los reguladores se diseñan para corregir el voltaje de línea en más o menos 10% respecto al nominal, en 32 escalones, con 5/8% de cambio de voltaje por escalón.*

*Cuando las bobinas internas del regulador se conectan en serie se obtiene 10% de regulación, y se conectan en paralelo, el valor de la corriente nominal crece a 160%, pero el rango de regulación de voltaje decrece a 5%.*

Además del auto transformador, un regulador de voltaje de escalón tiene dos componentes mayores, que son el mecanismo cambiador de derivaciones y el mecanismo de control. Cada regulador tiene los controles y accesorios necesarios para que el cambio de taps se haga automáticamente por el cambiador, en respuesta al sensor del control de voltaje, manteniendo en esta forma un voltaje de salida predeterminado.

El mecanismo de control tiene entradas de transformadores de potencial y de corriente y permite el control del nivel de voltaje y del rango (ancho de banda).

También existen reguladores auto-elevadores de cuatro escalones. Normalmente son auto transformadores monofásicos que se usan para regular el voltaje en los alimentadores. Se usan en circuitos de 2.4 kV a 12 kV en delta y de 2.4/4.16 kV hasta 19.92/34.5 kV en estrella multi-aterizada.

Tienen corrientes nominales de 50 a 100 y cada escalón es de 1.5 o de 2.5% según sea el rango de regulación de 6 o de 10% respectivamente. Es probable que los fabricantes europeos manejen parámetros diferentes a los aquí descritos, pero en todo caso son similares.

#### **2.2.5.1.- MK-20.**

El regulador de tensión electrónico MK-20 es uno de los más importantes dispositivos de M.R. para el control de cambiadores bajo carga.

El sistema MK-20 lo integran el regulador de tensión y un conjunto de unidades opcionales para montaje empotrado o saliente sobre paneles de control.

El regulador MK-20 está destinado al control de cambiadores de tomas bajo carga instalados en transformadores de potencia, cuyos accionamientos a motor sigan el principio de funcionamiento de "paso a paso" es decir que a un impulso en el accionamiento eléctrico, éste inicia el cambio de tensión correspondiente a un solo escalón.

El accionamiento a motor recibe este impulso únicamente cuando existe una diferencia entre el valor real de la tensión y el valor de referencia.

El regulador de tensión posee un circuito de retardo ajustable mediante el que se reduce la influencia de variaciones de tensión de poca duración y aumenta la estabilidad del circuito regulador. De esta manera se evitan conmutaciones de escalones innecesarias.

El compensador de caída de tensión de línea incorporado (LINE-DROP-COMPENSATOR-LCD) permite producir en amplia escala la caída de tensión en una línea conectada al transformador regulador. Con él, la tensión en el punto de consumo se puede mantener constante independiente de la carga (magnitud y desfase de la corriente). Ver Fig.28.



FIG. 28 REGULADOR MK-20

### **2.2.5.2.- VC-100-BU.**

*Este regulador ofrece por primera vez, como alternativa al sistema de regulación hasta ahora conocido, el sistema de regulación parametrizable de precisión "ARS" que hace posible, por ejemplo, el ajuste de una regulación asimétrica. Mediante la optimización de sus parámetros de funcionamiento, lo cual se tiene la posibilidad de mejorar la calidad de la tensión, sin tener que recurrir a acciones de conmutación adicionales del conmutador.*

*El regulador puede ser parametrizado con la ayuda de un ordenador personal a través de la interfaz serial (RS-232) incorporada; M.R. ofrece el software apropiado para la PC.*

*La compensación de la caída de tensión en la línea debida a la carga, por ejemplo de una derivación entre el transformador y el consumidor, puede ser realizada mediante un compensador de caída de línea o mediante la elevación de tensión sólo dependiente de la corriente aparente en el circuito (COMPENSACIÓN Z).*

*Mediante los dispositivos de bloqueo de sub-tensión y de sobre-intensidad y la protección contra sobre tensión disponibles queda asegurado un servicio ampliamente libre de incidentes.*

### **2.2.5.3.- M-2001B.**

*El M-2001B es un control electrónico digital micro procesado para cambio de derivaciones en transformadores de potencia o reguladores de voltaje en redes de distribución. De fácil instalación, con capacidad de comunicación permite una variedad de dispositivos que cumple con todos los tipos de aplicaciones propias de este control convirtiéndolo en un muy popular dispositivo en la industria eléctrica. Características de aplicaciones específicas son entre otras: registro continuo de eventos, 5 diferentes tipos de protocolos de comunicación, dos puertos de comunicación rs-232, y rs-485 puerto para*

fibra óptica, un segundo método de compensador de línea de caída especialmente para subestaciones de distribución, curvas de tiempo inverso.

Todas las características y las opciones disponibles con los controles análogos son estándar con los controles digitales, así como muchos otros beneficios como capacidades remotas de comunicación. El m-2001b digital TAPCHANGER control se utiliza a través de un menú de software que ayuda al usuario a través de un display amigable, fácil de utilizar y entender. Ver Fig.29.

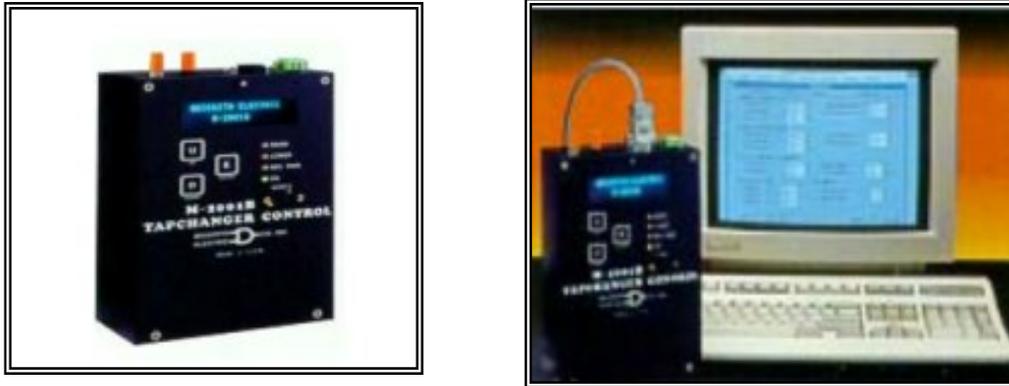


FIG. 29 REGULADOR M-2001B

#### **2.2.5.4.- TREE TECH.**

Es una tecnología de instrumentos micro procesado y la experiencia de muchos años en la aplicación y operación de proyecto de transformadores. Es utilizado para controlar la tensión del secundario de transformadores equipados con cambiador de tomas, manteniéndola regulada dentro de los límites pre-ajustados. Incorpora las funciones de compensación de caída de tensión en la línea, bloqueo y alarma por sub-tensión y sobre-corriente y alarma por sobre tensión. Utiliza un software de alta flexibilidad y fácil adaptación para cualquier tipo de conmutador y transformador. Posee un micro controlador que supervisa las variables de entrada (tensión y corriente), efectúa la compensación de caída de tensión en la línea, la temporización y el comando de los relés de salida en función de parámetros ajustados a través del teclado frontal. Posee un Display de cristal líquido de dos líneas con 16 dígitos alfanuméricos cada una para la visualización de los datos y funciones, una salida serial RS 485 para comunicación externa, dos entradas para ajuste externo de la tensión de referencia y 6 relés de salida con contactos normalmente abiertos y libres de potencial, con las siguientes funciones: aumentar tensión, disminuir tensión, señalización por bloqueo de sub-tensión ( $u <$ ), señalización por bloqueo por sobre-corriente ( $i >$ ), señalización por sobre tensión ( $u >$ ) y, opcionalmente de paralelismo por método de corriente circulante. Ver. Fig.30.

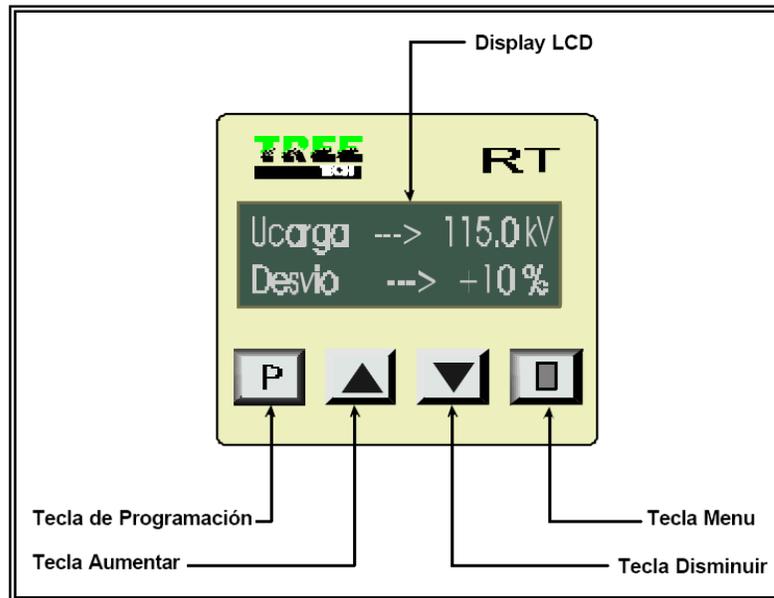


FIG. 30 REGULADOR TREE-TECH

## 2.2.6.- BANCOS DE CAPACITORES.

*El uso del capacitor de potencia.*

*Se inicio en el año 1914 aproximadamente, durante los primeros años se fabrico con dieléctricos de papel impregnado en aceite mineral. En el año 1932 la introducción de los askareles (hidrocarburos aromáticos clorados) como impregnantes, produjo una verdadera revolución en la técnica de los capacitores de potencia.*

*En las redes eléctricas de corriente alterna pueden distinguirse dos tipos fundamentales de cargas: cargas óhmicas o resistivas y cargas reactivas.*

*Las cargas óhmicas toman corrientes que se encuentran en fase con el voltaje aplicado a las mismas. Debido a estas circunstancias la energía eléctrica que consumen se transforma íntegramente en trabajo mecánico, en calor o en cualquier otra forma de energía no retornable directamente a la red eléctrica. Este tipo de corrientes se conocen como corrientes activas.*

*Las cargas reactivas ideales toman corrientes que se encuentran desfasadas 90° con respecto al voltaje aplicado y por consiguiente, la energía eléctrica que llega a la misma no se consume en ellas, sino que se almacena en forma de campo eléctrico o magnético durante un corto periodo de tiempo (un cuarto de ciclo) y se devuelve a la red en un tiempo idéntico al que tardo en almacenarse. Este proceso se repite periódicamente, siguiendo las oscilaciones del voltaje*

aplicado a la carga. Las corrientes de este tipo se conocen como corrientes reactivas.

Una carga real siempre puede considerarse como compuesta por una parte puramente resistiva, dispuesta en paralelo con otra parte reactiva ideal.

Sin embargo, en las cargas representadas por líneas de transmisión y distribución, transformadores, lámparas fluorescentes, motores eléctricos, equipos de soldadura eléctricos, hornos de inducción, bobinas de reactancia..., etc. la parte reactiva de la carga suele ser de una magnitud incomparable a la de la parte puramente resistiva.

*El factor de potencia.*

al coseno del Angulo  $\theta$  que forma la corriente activa  $i_a$  con la corriente total resultante  $i$ , se le llama factor de potencia debido a que se presenta la relación existente entre la potencia real consumida  $i_{av} = w$ , o potencia activa y la potencia aparente  $i_v = w_o$  .que llega es decir.  $w = w_o \cos \theta$

*El uso de capacitores de potencia proporciona los beneficios siguientes:*

- A) aumenta la capacidad de carga de los generadores, líneas eléctricas y transformadores.
- B) reducen las pérdidas de energía eléctrica en forma de calor, mejorando notablemente el rendimiento económico de la transmisión y consumo de la energía eléctrica.
- C) permiten elevar los niveles de voltaje y mejorar la regulación de voltaje en los centros de consumo de energía eléctrica.
- D) corrigen el factor de potencia, evitando el pago de penalidades a las compañías eléctricas.

*La razón primordial del uso de bancos capacitores des conectables es la de optimizar la calidad y la economía de la distribución y el consumo de la energía eléctrica, avanzando en las mejoras que pueden lograrse en un sistema eléctrico al instalar bancos de capacitores fijos.*

*Regulación de voltaje.*

*La regulación de voltaje en un sistema eléctrico puede requerir el uso de grandes cantidades de capacitores durante las horas de plena carga, que deben ser desconectados cuando la carga del sistema disminuye. De lo contrario, pueden producirse sobre voltajes en los momentos de baja carga que además de ser indeseables por razones de seguridad, vida media y regularidad en el funcionamiento de motores y equipos eléctricos en general, también pueden llegar a sobre excitar los transformadores, causando un flujo excesivo de corrientes armónicas en el sistema. Los capacitores de potencia pueden ser*

*coordinados también con los reguladores de voltaje, para obtener rangos de voltaje que no sería posible alcanzar usando reguladores solamente.*

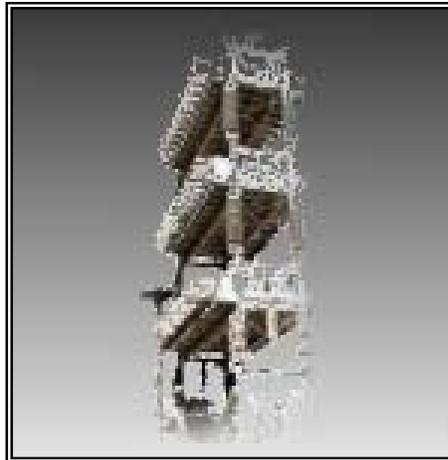
*Reducción de pérdidas por efecto joule.*

*A veces, puede ser necesario desconectar capacitores del sistema, en concordancia con la demanda de potencia reactiva en las líneas, a fin de minimizar las perdidas por efecto joule producidas por corrientes tanto en atraso como en adelanto con respecto al voltaje.*

*Con frecuencia éstos se aplican en las subestaciones de distribución o fuera, en los alimentadores primarios, para realizar una parte de la tarea global de regulación del voltaje.*

*En la mayor parte de las empresas de servicio eléctrico se aplican capacitores en derivación como una herramienta en el diseño económico del sistema. Es común que se apliquen capacitores en derivación fijos (sin conmutación) para llevar el factor de potencia de la carga de alumbrado hasta más o menos el 100%. Entonces se agregan bancos de capacitores en derivación con conmutación automática para lograr un factor de potencia económico a plena carga que puede ser del orden del 95 al 100%.*

*Estos capacitores además de sus funciones económicas como la reducción de las pérdidas y la liberación de la capacidad del sistema, mejoran en forma apreciable las condiciones del propio sistema. No obstante, en general se necesita un control adicional de voltaje y esto se lleva a cabo del modo más económico con el equipo de regulación de voltaje. Ver Fig.31.*



**FIG. 31. BANCO DE CAPACITORES**

### **2.2.7.- PROBLEMAS DERIVADOS DE LA MALA REGULACIÓN.-**

Un voltaje estable, permanentemente elevado, causa:

*\*La reducción de la vida útil de las lámparas incandescentes.*

*\*La reducción de la vida útil de los aparatos electrónicos.*

*\*Falla prematura en algunos aparatos.*

### **2.2.8.- Un voltaje permanentemente bajo causa:**

*\*Niveles bajos de iluminación.*

*\*Imágenes de mala calidad en la televisión.*

*\*Mala calidad del sonido en los aparatos.*

*\*Dificultades en el arranque de motores (lentitud).*

*\*Calentamiento de los motores por sobre-corriente.*

*\*Algunas luminarias de alta eficiencia ni siquiera arrancan con bajo voltaje.*

### **2.2.9.- MEDIANA TENSION.**

*Los transformadores trifásicos de 230/23 kV y 85/23 kV que se utilizan en las subestaciones de luz y fuerza del centro cuentan con un cambiador de derivaciones bajo carga, actuando por un dispositivo automático de regulación de voltaje.*

*En el caso de los bancos de transformadores de 85/23 kV se utilizan reguladores de voltaje separados; teniéndose un regulador por banco en 23 kV.*

*Y en subestaciones de 23/6 kV se instala regulador por cada alimentador.*

*Los sistemas de regulación automática de tensión, están integrados en los transformadores y reguladores de voltaje. Los casos de la regulación en estos sistemas son tres, dependiendo del tipo de instalación:*

*1.- En los alimentadores de 6 kV largos, por lo regular es necesario proporcionar regulación de voltaje, además de la incorporada en el equipo de la subestación, debido a las grandes caídas de voltaje en el sistema. Esta regulación suplementaria del voltaje por lo general se mejora por medio de reguladores monofásicos automáticos por pasos en las capacidades nominales menores. Estos reguladores son adecuados para montarse en los postes.*

2.- En el arreglo de doble barra en 23 kV y con banco 85/23 kV, 30 MVA formado por tres transformadores monofásicos, se tiene una regulación de voltaje en las barras de 23 kV por medio de un regulador de voltaje trifásico instalado entre el banco de transformadores y las barras de 23 kV.

En el caso de arreglo de alimentadores 23 kV en anillo alimentado por transformadores trifásicos de 30 MVA, 45 MVA ó 60 MVA, cada transformador está provisto de un cambiador automático de derivaciones bajo carga, para regular el voltaje de salida del transformador.

En los casos anteriores se toma en cuenta para la regulación la caída de voltaje en el alimentador, dependiente de la, corriente que pasa por el mismo.

### 2.3.0.- BAJA TENSION.

Existen dos parámetros que suelen generar bajo voltaje en la red de distribución cuando los servicios se encuentran a una distancia considerablemente lejana del transformador y estos son.

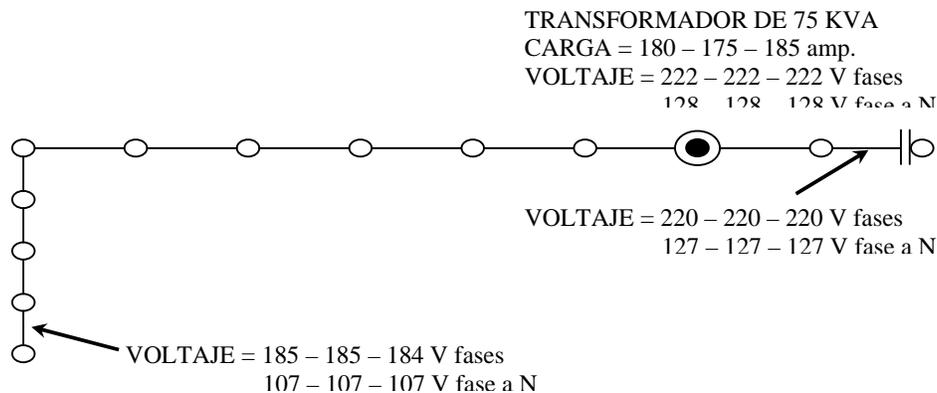
\*Transformador fuera de su centro de carga.

\*Red de baja tensión muy extensa.

En el caso que el transformador se encuentra fuera de su centro de carga, se solicita el departamento de líneas aéreas o foráneo correspondiente la reubicación respectiva de manera que la caída de tensión no afecte a los usuarios localizados al final de la red de baja tensión. De igual manera, en el caso de red muy extensa, se solicitan los estudios para rediseñar la red mediante la instalación de otro transformador de capacidad necesaria para resolver el problema de regulación.

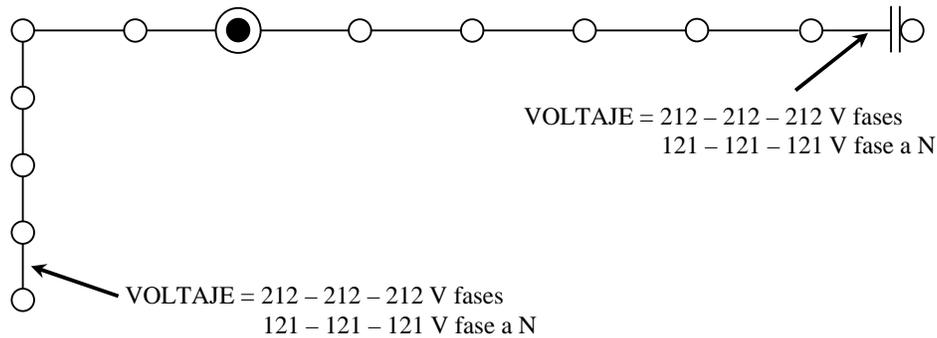
### 2.3.1.- EJEMPLOS:

#### 2.3.1.a).- TRANSFORMADOR FUERA DE SU CENTRO DE CARGA:



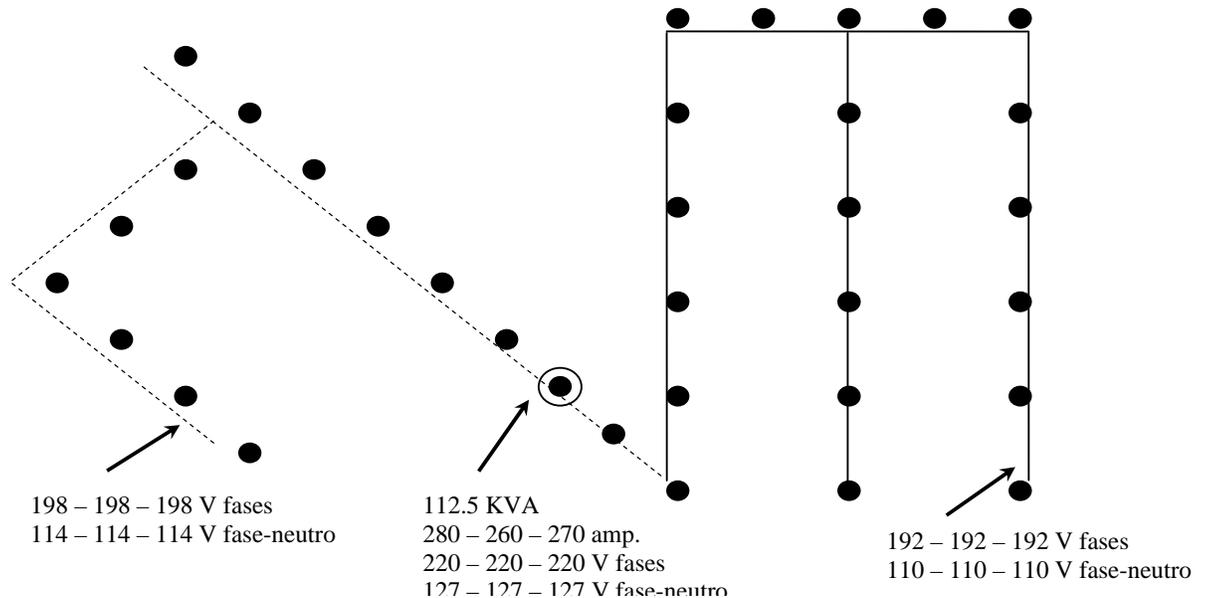
### 2.3.1.b).- EL MISMO TRANSFORMADOR UNA VEZ REUBICADO EN SU CENTRO DE CARGA:

TRANSFORMADOR DE 75 KVA  
CARGA = 180 – 175 – 185 amp.  
VOLTAJE = 222 – 222 – 222 V fases  
128 – 128 – 128 V fase a N

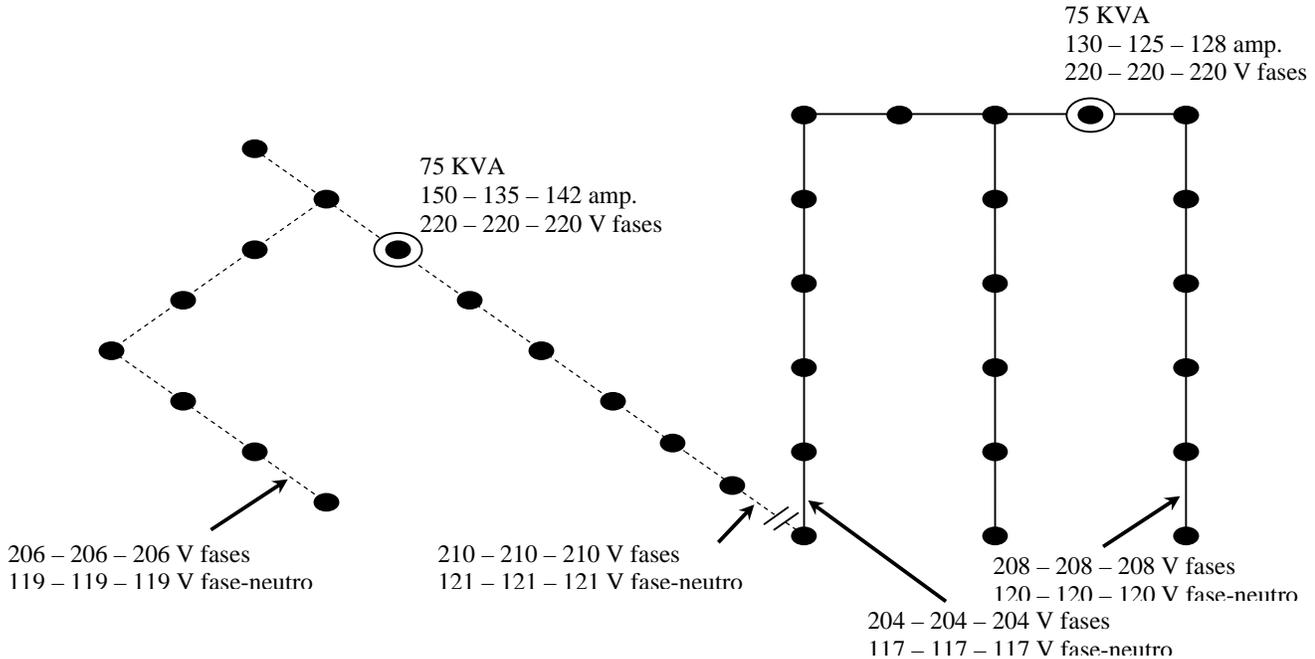


### 2.3.1.c).- TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN CON RED DE BAJA TENSION MUY EXTENSA.

En este caso se presenta el caso de un transformador de 112.5 kVA que cumple con la condición de no sobrecarga, pero debido a lo extenso de su red, existe una caída de tensión muy considerable que excede el porcentaje establecido por las normas y reglamentos oficiales.



**2.3.1.d.- LA MISMA SECCIÓN DE BAJA TENSIÓN SECCIONADA CON UN TRANSFORMADOR ADICIONAL:**



**2.4.- LOS ELEMENTOS QUE PERMITEN MEJORAR EL VOLTAJE DE LLEGADA A LOS USUARIOS SON:**

**2.4.a).- Cambiador de derivaciones manual en media tensión de los transformadores de distribución (tap's). Ver Fig.32. a) y b).**

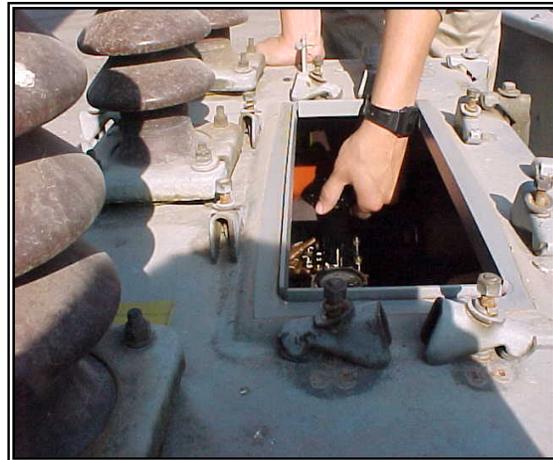
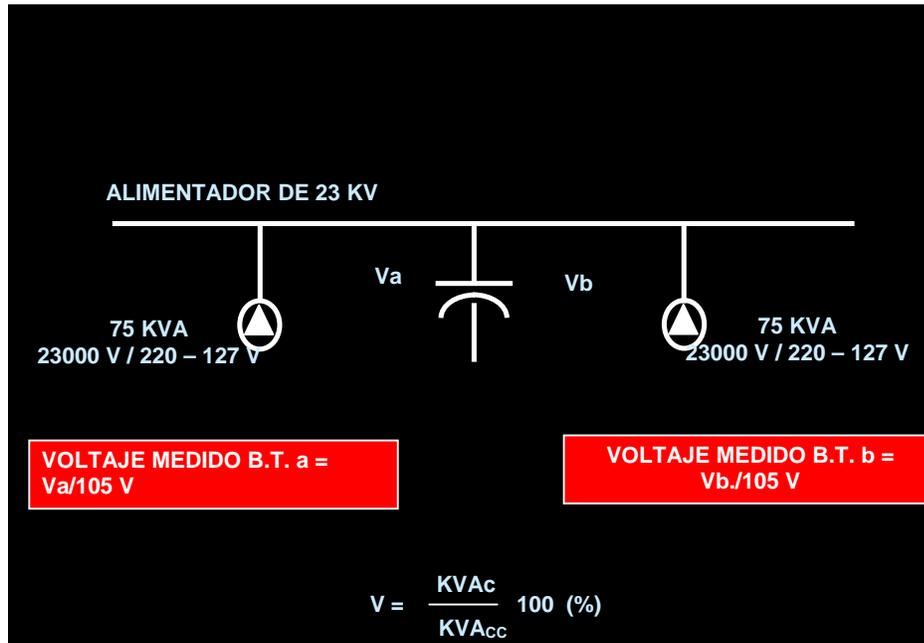
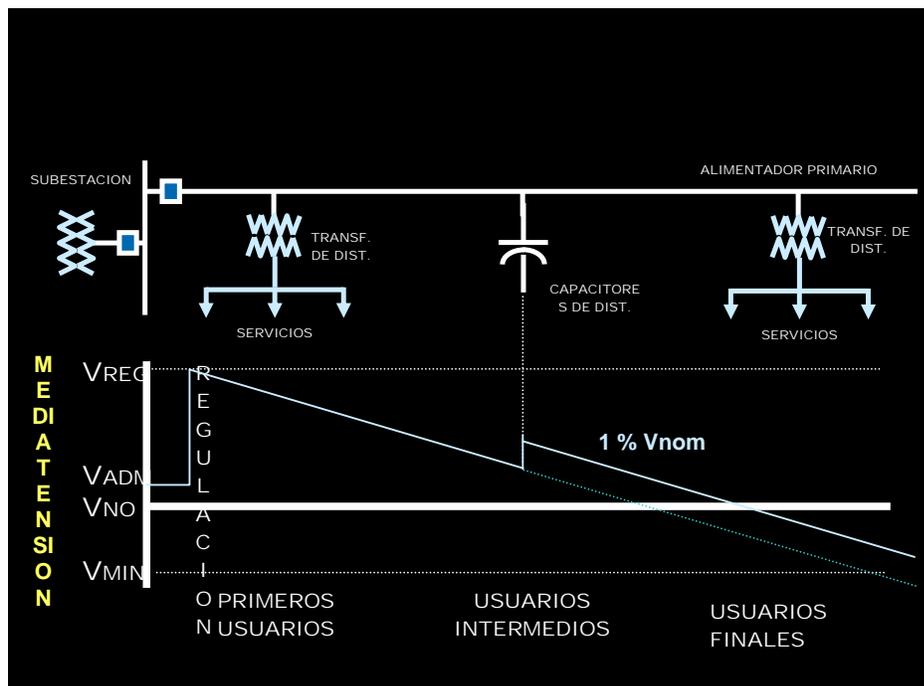


FIG. 32 a y b CAMBIO DE TAPS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.

**2.4.b).- Capacitores en la red del alimentador de 23 kv. (en menor medida, ya que su función principal es entregar reactivos). Ver siguiente grafico 2 Y 3.**



**GRAFICO. 2 COMPENSACION CON CAPACITORES**



**GRAFICO. 3. PERFIL DEL VOLTAJE A LO LARGO DE LOS ALIMENTADORES DE 23 KV COMPENSADOS POR CAPACITORES DE DISTRIBUCIÓN TIPO POSTE.**

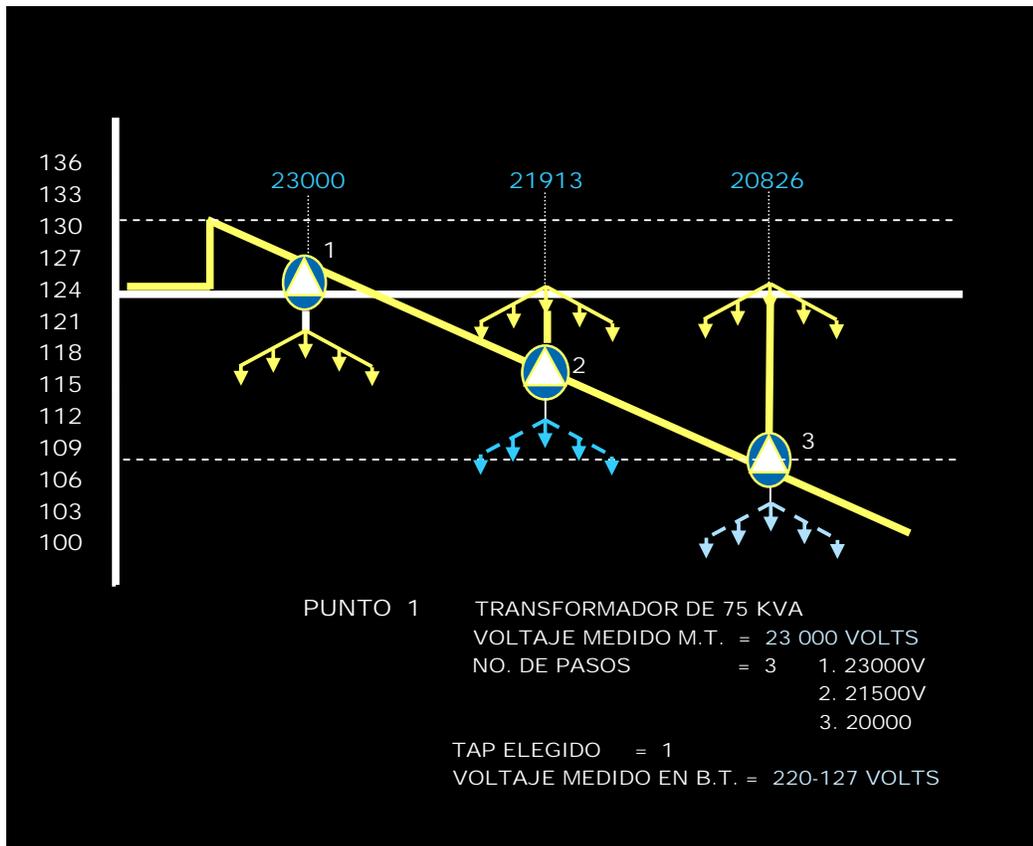
**2.4.c).- Reguladores en poste. (ACTUALMENTE NO SE UTILIZA ESTE RECURSO EN LYFC).**

Actualmente a lo largo de los alimentadores de distribución se puede regular en baja tensión a través de los cambiadores manuales de los transformadores de distribución. Ver grafico 4 y 5.

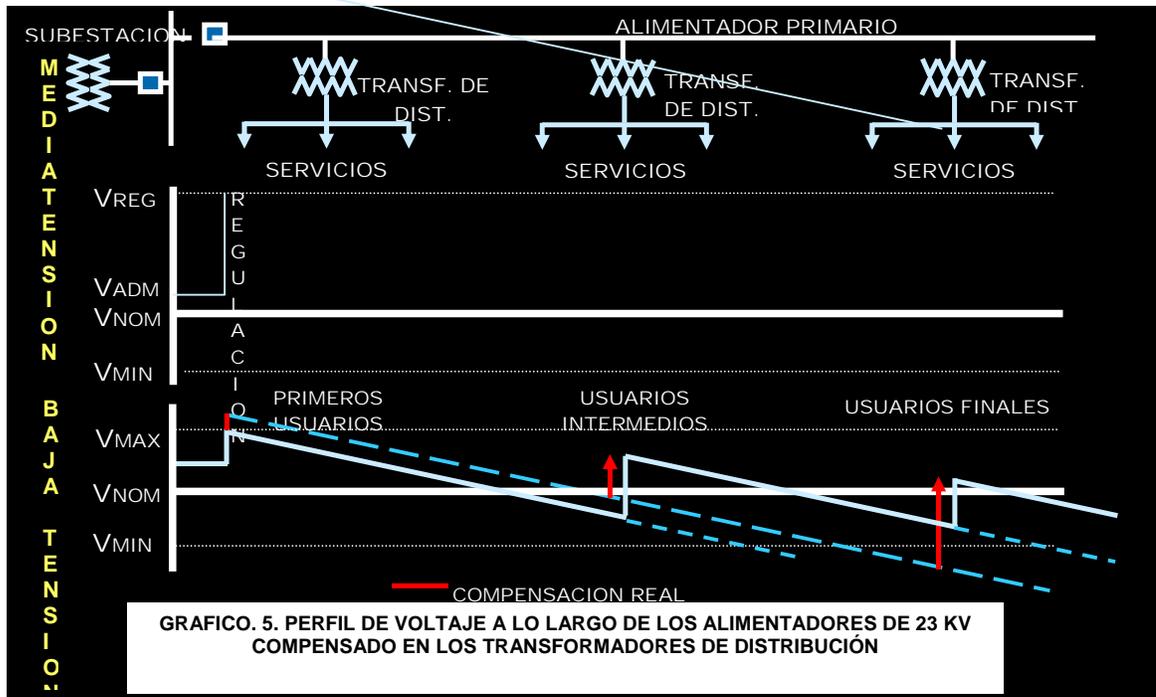
<b>TRANSFORMADORES CON DOS PASOS:</b>	<b>23000 - 20000</b>
<b>TRANSFORMADORES CON TRES PASOS:</b>	<b>23000 - 21500 - 20000</b>
<b>TRANSFORMADORES CON CUATRO PASOS:</b>	<b>24150 - 23000 - 21850 - 20700</b>
<b>TRANSFORMADORES CON CINCO PASOS:</b>	<b>24150 - 23575 - 23000 - 22425 - 21850</b>
<b>TRANSFORMADORES CON DIEZ PASOS:</b>	

**GRUPO I (A) 24004 - 23431 - 22860 - 22288 - 21717**

**GRUPO II (B) 21143 - 20573 - 20000 - 19428 - 18857**



**GRAFICO. 4. EJEMPLO DE REGULACIÓN A TRAVES DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN**



## 2.5.- MANUAL DE PROCEDIMIENTOS.

Son responsables del superintendente del departamento de distribución pruebas, el ingeniero ayudante de jefe e ingenieros CL-20A de pruebas y directamente responsables por las maniobras efectuadas en el campo para la regulación son el ingeniero CL-20B asignado al puesto, el ingeniero operador de sistema, el operador encargado de la subestación correspondiente.

### 2.5.1.- REQUISITOS, LINEAMIENTOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA REGULACIÓN.

Existen varias maneras que generan la necesidad de efectuar regulación en las subestaciones de LUZ Y FUERZA:

- A).- Por la atención a un pendiente generado por operación sistema.
- B).- Por la solicitud efectuada por el departamento de operación de redes de corregir el voltaje por el lado de 23 kV de determinado banco de una S.E. con variación.
- C).- Por cumplir con un programa de revisión y pruebas a cambiadores de derivaciones y reguladores. Elaborado por distribución pruebas para mantener un nivel de voltaje que este dentro de los valores de norma y adecuados para la red de distribución en LYFC. Además de verificar el correcto funcionamiento de los equipos relacionados con la regulación,

*como es el control electrónico, el funcionamiento del motor y verificar que estén trabajando en posición "AUTOMÁTICO".*

*D).- Para corregir el nivel de voltaje por el lado de 23 kV en los bancos de potencia cuando se han generado varias quejas por bajo o alto voltaje, en una misma zona de un alimentador común.*

*Una vez que se haya generado la necesidad de acudir a alguna subestación de LYFC por las situaciones descritas anteriormente, el ingeniero encargado de la regulación de bancos en el área de pruebas se traslada a la subestación correspondiente y estando en el lugar, deberá proceder con los siguientes pasos:*

*Se ingresa al predio de la subestación y se acude al salón de tableros, en donde se deberá presentar debidamente e identificar con el operador responsable en turno de la subestación, indicándole el motivo de la visita y solicitar el permiso correspondiente. El operador de la subestación entablara comunicación inmediatamente con el ingeniero de operación sistema el cual otorgara dicho permiso y en caso de ser necesario solicitara comunicación con el ingeniero de pruebas, quien a su vez repetirá el protocolo de solicitud de permiso e información de las maniobras y ajustes a ejecutar en el banco correspondiente. De lo anterior se deberá asentar los datos en el formato de reporte de regulación.*

- Nombre del operador de la subestación.*
- Nombre del ingeniero de operación sistema.*
- Hora de otorgamiento del permiso.*
- Banco o bancos en los que se va a trabajar.*
- Carga que esta llevando en ese momento el banco o bancos en cuestión.*
- Alguna observación que se considere pertinente anotar.*

*En el caso en que se trate de una SUBESTACIÓN TELECONTROLADA, al momento de ingresar al predio de la S.E. EL INGENIERO se deberá anotar en el libro de reportes de asistencias y maniobras de la subestación para inmediatamente después solicitar por vía telefónica el permiso correspondiente con el ingeniero de operación sistema y seguir los mismos pasos señalados en el párrafo anterior.*

*Una vez teniendo el permiso otorgado, se dirige al banco en donde antes de efectuar cualquier operación o maniobra, se anotara en el formato de regulación las condiciones de cómo se encuentran los controles del cambiador o regulador es decir:*

- Ancho de banda.*
- No de operaciones.*
- Nivel de voltaje.*
- Resistencia.*
- . Reactancia.*
- . Tiempo de operación.*
- . Posición del tap.*

-Posición si esta en "AUTOMÁTICO" O "MANUAL".

### **2.5.2.- PARA ATENDER UN PENDIENTE DE OPERACIÓN SISTEMA.**

Se coloca en posición automático y se aprecia si el cambiador sube o baja taps. dependiendo de la razón del pendiente, en caso de que el cambiador empiece a subir se deberá pasar inmediatamente a "manual" y se modificara el ajuste de nivel de voltaje a valores más bajos, cuidando de que estos valores a su vez no lo sean demasiado. Es indispensable que al estar haciendo estos pasos permanezca conectado permanentemente un voltmetro portátil en las terminales del t.p. del control, ya que es la forma de monitorear los valores máximos y mínimos de voltaje a los cuales sé esta trabajando. Una vez que se haya logrado un ajuste deseado del nivel de voltaje, se procede a efectuar las pruebas correspondientes para verificar el comportamiento del regulador, las cuales se describen de la siguiente manera:

- Estando el control en posición automático y el cambiador de derivaciones estabilizado en algún determinado tap al cual el regulador ha sido ajustado, se procede a colocar el selector en posición "**MANUAL**".
- Se suben cuatro o cinco taps a través del botón del motor del cambiador e inmediatamente se coloca el selector en posición "automático" y dependiendo del tiempo de ajuste de tiempo del control automático (2, 3, 4,5 seg.) se empezara a regular el voltaje a la posición anteriormente ajustada.
- Se efectúa la misma operación para verificar la operación inversa, en vez de subir cuatro taps, se bajan.
- Una vez realizadas las pruebas anteriormente descritas, se apuntaran en el formato de datos de reporte de regulación las condiciones en las que quedo ajustado el control de cambiador de derivaciones.
- En caso de que se detecte alguna anomalía en el funcionamiento del cambiador o de su control al estar efectuando las pruebas, se anotaran en el espacio de "observaciones" del reporte y se dejara trabajando en manual.
- Se regresara el permiso en el salón de tableros de la subestación, ya sea al operador de esta, en el caso de subestaciones convencionales o comunicándose con el ingeniero de operación sistema por vía telefónica cuando se trate de SUBESTACIONES TELECONTROLADAS, indicándoles clara y detalladamente de los trabajos efectuados en el lugar del permiso y en caso de haber encontrado alguna anomalía hacérsela notar para que estos a su vez abran un "**No de pendiente**" para el departamento correspondiente que puede ser mantenimiento o laboratorio.
- Es importante que el ingeniero de regulación verifique dentro del salón de tableros el voltaje indicado en la carátula de voltímetro de cada banco de

potencia y que corresponda al mismo que se midió tanto en barras de 23 kV como en las terminales del T.P. del control del cambiador de derivaciones ya que hay una diferencia entre ambos (refleja un desajuste en el voltímetro de la subestación).

- Por ultimo se anota la hora a la que fue devuelto el permiso por parte del ingeniero de operación sistema y en el caso de SUBESTACIONES TELECONTROLADAS se anotara la hora de salida del lugar, así como las observaciones pertinentes que requieren en el libro de asistencias del lugar.

**Por ningún motivo el INGENIERO DE REGULACIÓN podrá retirarse de la subestación sin haber escuchado de viva voz del INGENIERO DE O.S. el regreso del mencionado permiso.**

**Corrección del nivel de voltaje de un banco por el lado 23 kV cuando se han generado quejas por alto y bajo voltaje en alguna zona de la red de distribución.**

Cuando se presenta el caso de que el departamento de pruebas se reciben quejas por alto o bajo voltaje y que después del personal de campo ha efectuado revisión y arreglos en la red de baja tensión y el problema persiste, se ha efectuado revisión y arreglos en la red de baja tensión y el problema persiste se efectúan pruebas de voltaje en transformadores adyacentes al de la queja y en caso de que también tengan alto o bajo voltaje según el caso se turna al ingeniero de regulación, quien investigara que alimentador es el que proporciona servicio a dichos transformadores.

Una vez identificado el alimentador se acude a la subestación correspondiente y se realiza el protocolo correspondiente y se realiza el protocolo de pruebas el cual consiste en los siguientes pasos:

Primeramente se siguen los pasos indicados anteriormente al ingresar al predio de la subestación y posteriormente se verifica en la libreta de registros de subestaciones que el ingeniero de regulación posee cual es el nivel de voltaje al cual debe de estar trabajando. Una vez verificado el nivel de voltaje registrado en la libreta se procede a tomar la lectura de voltaje en las terminales del t.p. del banco a través de un voltímetro portátil, con esta señal multiplicando por la relación de transformación del mencionado T.P. se obtiene el voltaje real por 23 kV.

Cuando el problema sea por bajo voltaje, el voltaje medido será menor que el de registro de la libreta de regulación, por lo que será necesario compensar dicho voltaje haciendo los ajustes necesarios para esto en el control del regulador. Este ajuste se hace particularmente en la perilla de nivel de voltaje.

Una vez hecho el ajuste, el cambiador de derivaciones elevara el voltaje por medio del cambiador de taps. Al valor ajustado, por ejemplo de 22.3 a 22.6 kV. Posteriormente se efectuaran las pruebas de protocolo descritas en párrafos

anteriores para verificar la correcta operación del cambiador automático de derivaciones.

Resulta conveniente efectuar pruebas en el lugar de origen, posteriormente a la regulación efectuada. Es decir, se envía una cuadrilla de probadores para verificar el voltaje en la red de baja tensión, el cual después de la compensación en la subestación; debió de ser mejorado.

### **2.5.3.- PERFIL DE TENSIONES PARA UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN REGULADO.**

La figura 3 muestra el perfil de tensiones usando los límites del rango A de la tabla 2. Suponiendo una tensión de distribución primaria de 13,800 V, el rango A de la tabla 2 pide que esta tensión sea mantenida para proporcionar un máximo de 126 V y un mínimo de 117 V en la base de 120 V. y aunque el multiplicador para convertir del sistema de 120 V al de 13,800 V es  $13,800/120 = 115$  V, el límite de tensión para el sistema de 1,380 es de  $115 \times 126 = 114,490$  V máximo y  $115 \times 117 = 13,460$  V mínimo.

Si un transformador de distribución con relación de 13,800/480 V se conecta en un alimentador de 13,800 V la tabla No. 2 rango A, requiere que la tensión secundaria de servicio de 480 V sea mantenida por la compañía suministradora entre un máximo de 126 V y un mínimo de 114 V a una base de 120 V Puesto que la base multiplicadora es  $480/120 = 4$ , el valor real de  $4 \times 126 = 504$  V máximo y  $4 \times 114 = 456$  V mínimo.

### **2.5.4.- USO DEL CAMBIADOR DE DERIVACIONES DEL TRANSFORMADOR.**

Normalmente éste tipo de transformadores cuenta con 2 derivaciones de 2.5% arriba y dos de 2.5% abajo, y por lo general se emplea bajo las siguientes condiciones:

1.- Cuando el "ancho de banda" del sistema primario de distribución está arriba o debajo de los límites requeridos para proporcionar un adecuado "ancho de banda" secundario.

*Ejemplo:*

Un transformador de 13,200 – 480 V conectado a un sistema de 13,800V se tendría una tensión secundaria de 502 V. Si se usa el cambiador de derivaciones de +5% se tendría una tensión de 482 V que sería más adecuada.

*El caso contrario:*

*Para un transformador de 13,200 – 480 V conectado a un sistema de 13,200 V, pero localizado cerca de la subestación, por lo que podría variar la tensión de la red, entre los siguientes valores:*

*13,200 V a 13,860 V (+5%) y la tensión secundaria variada por lo tanto de: 480 V a 504 V.*

*Si se usa el cambiador de derivaciones de +2.5% se tendrán:*

*468 V a 491 V (más adecuado para la correcta operación.*

*2.- Para proporcionar “ancho de banda” adecuados a la tensión nominal del equipo de utilización.*

*Por ejemplo para un sistema de 480 V si los motores tienen una tensión de placa de 460 V, usando el cambiador de derivaciones normal la tensión podrá variar de 440 a 500 V que estaría dentro de los límites.*

*Por sí los motores están a 440 V, conviene usar el cambiador de derivaciones +5% para que la tensión varíe de: 418 a 475 V, que es el “ancho de banda” más adecuado para el motor de 440 V.*

*Cabe hacer notar que los cambiadores de derivaciones de un transformador no deben usarse para corregir caídas excesivas en el sistema secundario de distribución (más de 5%) ni un voltaje de los límites fijados para el sistema de distribución primario.*

### **2.5.5.- SELECCIÓN DE TENSIONES**

*Este es uno de los aspectos más importantes en el diseño de los sistemas de fuerza.*

*Los niveles de tensión primarios son determinados por la compañía suministradora. Estas tensiones pueden usarse internamente en la planta.*

*Dado que los niveles de tensión en sistemas de distribución se han estado incrementando, los equipos se han venido adecuando a ello. Así es posible tener dentro de un edificio industrial, las siguientes tensiones:*

- De 15 a 25 kV Se pueden emplear sin problemas.
  
- De 25 a 35 kV Es conveniente hacer un estudio económico para decidir su uso.
  
- De 35 kV hacia arriba Es conveniente reducir a una tensión menor para su distribución.

### **2.5.6.- FACTORES QUE AFECTAN LA SELECCIÓN DE LA TENSIÓN.**

- 1.- Tensión nominal de los dispositivos o aparatos por alimentar.
- 2.- Tensión primaria disponible de la compañía eléctrica. Este voltaje no siempre es el más adecuado, para conectar cargas directamente a él, pero puede usarse para alimentar s subestaciones dentro de la fábrica.
- 3.- La distancia a la cual se lleva la energía, que implica hacer estudios técnico – económicos para decidir su mejor opción.

En plantas grandes es común tener tres o más niveles de tensión:

- + 480 V. Para utilización.
  
- + 2.4 ó 4.16 kV Para motores grandes o tensión de distribución de la planta.
  
- + 13.8 ó 23 kV Como tensión de distribución de la planta o como alimentación general de la compañía eléctrica.

### **¿QUÉ SISTEMA ES MÁS CONVENIENTE: 480 Ó 220 V?**

A menudo nos hacemos la pregunta ¿Cuál es más económico, 220/127 ó 480/277? En general podemos decir que 220/127 es más económico siempre y cuando cumpla con las siguientes condiciones:

- a) Que el 70% de la carga se alimente a 127 V
  
- b) Que la carga no exceda de 300 kVA como es el caso de tienda, talleres y fábricas pequeñas.

Como una referencia general puede utilizarse los valores indicados en las tablas 3 y 4.

TABLA No. 3.

VOLTS DEL SISTEMA	kVA DEL SISTEMA
480	750 – 1,500 kVA
2,400	Hasta 3,000kVA (1)
4,160	de 1,500 a 10,000 kVA
4,160 ó 13,800 (2)	10,000 a 20,000 kVA
13,800	de 20,000 kVA

NOTA: Esta guía es solo representativa y puede variar considerablemente en caso particular.

(1) Es poco usual que 2400 V. Se utilice como tensión de distribución principal, pero pueden existir motores a está tensión.

(2) Hacer estudio comparativo, cualquiera puede funcionar.

TABLA No. 4.- Selección de la tensión, basada en los requerimientos tensión de alimentación de motores.

VOLTS DEL SISTEMA	VOLTAJE DEL MOTOR	POTENCIA DEL MOTOR
220		125 HP
480	460	HASTA 250 HP
2,400	2,300	200 – 1,000 HP
4,160	4,000	300 – 4,000 HP
13,800	13,200	500 HP ó más

### **2.5.7. -EFECTO DE VARIACIÓN DE TENSIÓN EN LOS EQUIPOS.**

**MOTORES DE INDUCCIÓN.** Ver tablas 5 y 6 anexas. En general, los afecta más una tensión ligeramente menor que una mayor.

**MOTORES SINCRONOS.** Se afectan en igual forma que los de inducción excepto en la velocidad (que depende de la frecuencia) y en el par de arranque que varía directamente con la tensión.

**LÁMPARAS INCANDESCENTES.** Los efectos son más críticos ver TABLA 7.

**LÁMPARAS FLUORESCENTES.** Se afecta menos que las incandescentes, pueden operar satisfactoriamente en un rango de +/- 10% pero una variación de +/- 1% afectará en forma directa la producción de lúmenes emitidos (luz)

**LÁMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA.** Si no se usan balastos regulados y si la tensión varía en 10% los lúmenes emitidos variarán en -30% si se usan balastos de potencia constante, con una tensión 10% menor, la variación de lúmenes será de 98%.

Pero sí la variación es mayor o igual al 20% de bajo voltaje el arco se extingue si esto sucede frecuentemente, disminuirá sensiblemente la vida de la lámpara.

**PROCESO DE CALOR CON LÁMPARAS INFRARROJAS O RESISTENCIAS.** En el caso de las resistencias se ve afectado el proceso en función del cuadrado de la tensión. En el caso de las lámparas, como su resistencia varía con el calor, se afecta ligeramente menor al cuadrado de la tensión.

**CAPACITORES.** La potencia reactiva varía con el cuadrado de la tensión por lo que una caída del 10% reduce en 19% la potencia reactiva, lo que a su vez reduce en ese porcentaje los beneficios de este tipo de equipos.

**DISPOSITIVOS OPERADOS POR SELENOIDE.** La fuerza de atracción varía con el cuadrado de la tensión, pero en lo general están diseñados para operar en + 10% y - 15% variación de voltaje.

**DISPOSITIVOS OPERADOS POR SELENOIDE.** Por lo general sucede cuando existen cargas monofásicas y no bien distribuidas. Se puede expresar matemáticamente como:

$$\text{Desbalanceo de la tensión entre fases} = \frac{\text{Desviación máxima respecto Al voltaje promedio}}{\text{Voltaje entre fases.}}$$

Dadas las corrientes de secuencia negativa que circulan internamente en el motor, estas producen un calentamiento como se observa en las siguientes tablas:

Tabla No. 5 Elevación de la temperatura de operación de los motores debido a las corrientes de secuencia negativa.

TIPO DE MOTOR	CARGA	% DE DESBALANCE EN TENSIÓN	% DE CALENTAMIENTO EXTRA	CLASE DE AISLAMIENTO	ELEVACIÓN DE TEMPERATURA (°C) OPERACIÓN
MARCO "U"	NOMINAL	0	0	A	60
	NOMINAL	2	8	A	65
	NOMINAL	3 1/2	25	A	75
MARCO "T"	NOMINAL	0	0	B	80
	NOMINAL	2	8	B	86.4
	NOMINAL	3 1/2	25	B	100

**TABLA No. 6. EFECTO GENERAL DE LAS VARIACIONES DE VOLTAJE EN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN DE ARMAZÓN “U”**

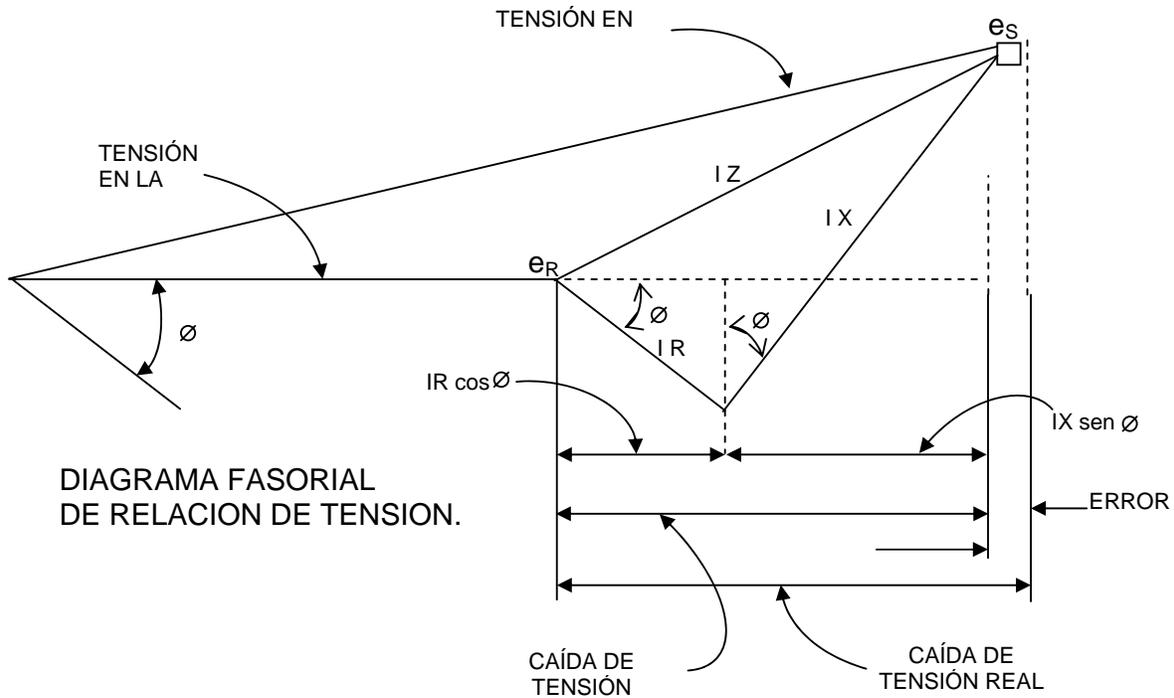
CARACTERÍSTICAS	FUNCIÓN DEL VOLTAJE	VARIACIÓN DEL VOLTAJE	
		90 % DEL VOLTAJE	110% DEL VOLTAJE
PARES DE ARRANQUE Y MÁXIMO DE TRABAJO	(VOLTAJE)	DISMINUYE 19%	AUMENTA 21%
VELOCIDAD SINCRONA	CONSTANTE	NO CAMBIA	NO CAMBIA
PORCIENTO DEL DESLIZAMIENTO	(VOLTAJE)	AUMENTA 23%	DISMINUYE 17%
VELOCIDAD A PLENA CARGA	DESLIZAMIENTO DE LA VEL. SINCRONA		
EFICIENCIA A: PLENA CARGA: 3/4 DE CARGA 1/2 CARGA		DISMINUYE 2% NO CAMBIA AUMENTA 1 A 2%	AUMENTA .5 A 1% NO CAMBIA DISMINUYE 1 A 2%
FACTOR DE POTENCIA A: PLENA CARGA: 3/4 DE CARGA 1/2 CARGA		AUMENTA 1% AUMENTA 2 A 3% AUMENTA 4 A 5%	DISMINUYE 3% DISMINUYE 4% DISMINUYE 5 A 6%
CORRIENTE A PLENA CARGA		AUMENTA 11%	DISMINUYE 7%
CORRIENTE DE ARRANQUE	(VOLTAJE)	DISMINUYE 10 A 12%	DISMINUYE 10 A 12 %
ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA A PLENA CARGA		AUMENTA 6 A 7 °C	DISMINUYE 1 A 2 °C
CAPACIDAD DE SOBRECARGA MÁXIMA	(VOLTAJE 2)	DISMINUYE 19%	AUMENTA 21%
RUIDO MAGNÉTICO – AIN CARGA ESPECÍFICA		DISMINUYE LIGERAMENTE	AUMENTA LIGERAMENTE

**TABLA No. 7 EFECTO GENERAL DE LAS VARIACIONES DE VOLTAJE EN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN DE ARMAZÓN "T"**

CARACTERÍSTICAS	FUNCIÓN DEL VOLTAJE	VARIACIÓN DEL VOLTAJE	
		90 % DEL VOLTAJE	110% DEL VOLTAJE
PARES DE ARRANQUE Y MÁXIMO DE TRABAJO	(VOLTAJE)	DISMINUYE 19%	AUMENTA 21%
% DESLIZAMIENTO	(VOLTAJE)	AUMENTA 20 A 30%	Disminuye 15 a 20%
VELOCIDAD A PLENA CARGA	DESLIZAMIENTO DE LA VELOCIDAD SINCRONA	DISMINUYE LIGERAMENTE	DISMINUYE LIGERAMENTE
EFICIENCIA A: PLENA CARGA: 3/4 DE CARGA 1/2 CARGA		DISMINUYE 2% NO CAMBIA AUMENTA 0 A 1%	AUMENTA .5 A 1% NO CAMBIA DISMINUYE 0 A 5%
CORRIENTE A PLENA CARGA		AUMENTA 5 A 10%	DISMINUYE LIGERAMENTE O AUMENTA A 5%
CORRIENTE DE ARRANQUE	(VOLTAJE)	DISMINUYE 10 A 12%	AUMENTA 10%
ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA A PLENA CARGA		AUMENTA 10 A 15%	AUMENTA 2 A 15%
CAPACIDAD DE SOBRECARGA MÁXIMA	(VOLTAJE 2)	DISMINUYE 19%	AUMENTA 21%
RUIDO MAGNÉTICO – AIN CARGA ESPECÍFICA		DISMINUYE LIGERAMENTE	AUMENTA LIGERAMENTE

### 2.5.8.- CÁLCULO DE CAÍDA DE TENSIÓN EN CONDUCTORES Y TRANSFORMADORES.

La fórmula general de la caída de tensión se puede obtener de acuerdo a la siguiente expresión matemática:



DE DONDE:

$$V = IR \cos \phi + IX \text{ sen } \phi$$

$V$  = Caída de tensión, línea a neutro.

$I$  = Corriente.

$R$  = Resistencia del conductor, corregida a 75°C (carga promedio) ó 90°.

$C$  = (carga máxima). Depende si se usan ductos magnéticos o no magnéticos

$X$  = Reactancia, depende del tamaño del conductor, si está en ductos magnéticos o no magnéticos y de la separación entre conductores.

$\phi$  Ángulo entre la corriente y la tensión de la carga (al neutro).

#### 2.5.8.1.- USO DE TABLAS PARA EL CÁLCULO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN.

Las tablas anexas son suficientemente precisas para los cálculos de caídas de tensión, se presentan cuatro secciones para el cálculo de caídas de tensión de

*conductores: para conductores de cobre y aluminio en ductos magnéticos y no magnéticos los valores están dados para la caída que se produce en los conductores de diferentes calibres 10,000 Amperes por metro.*

**2.5.8.a).- EJEMPLO DEL USO DE LAS TABLAS:**

*Sea un circuito con conductores de cobre calibre 500 MCM en tubería conduit (magnética), la longitud del circuito es de 60 metros y la carga de 800 A, a un factor de potencia de 80%. ¿Cuál es la caída de tensión al neutro?*

*Se calculan los amperes-metro del circuito: 300 AMP x 60 m = 18,000 Amp-m.*

*De acuerdo a la tabla, la caída de tensión para 10,000 Amp-m, tiene un calibre de 500 MCM, factor de potencia de 0.8 y ducto magnético es: **2.79 Volts**.*

*Por lo que para 18,000 Amp. se tiene:*

$$\frac{18.000}{10.000} \times 2.79 = 5 \quad \text{Volts (entre fases)}$$

*para el neutro  $V = 5 / \sqrt{3} = 2.89 \text{ V}$*



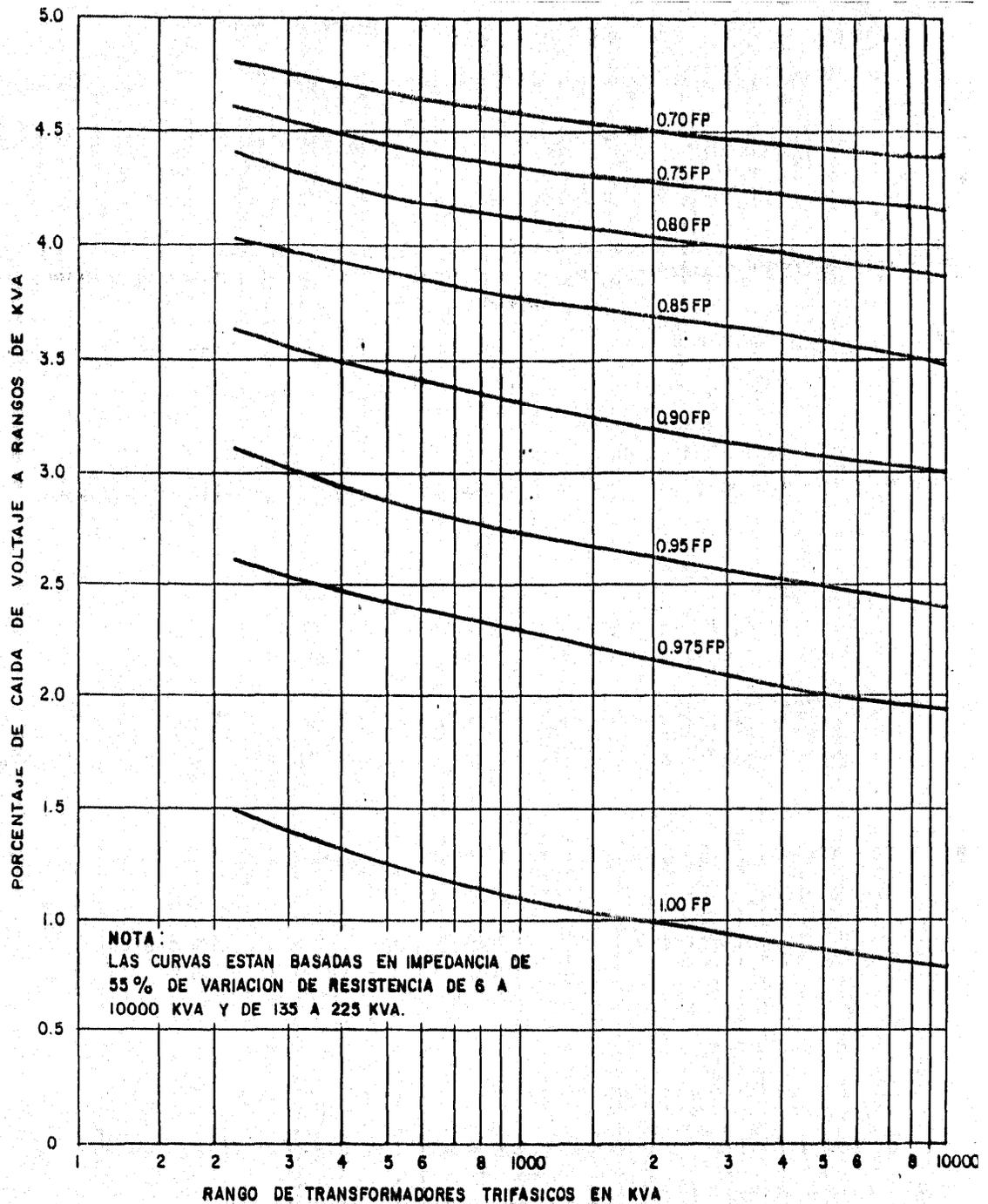


FIG. 33 CURVAS DE CAIDAS DE TENSION APROXIMADAS PARA TRANSFORMADORES TRIFASICOS, 225 - 10000 KVA, 5 - 25 KV.

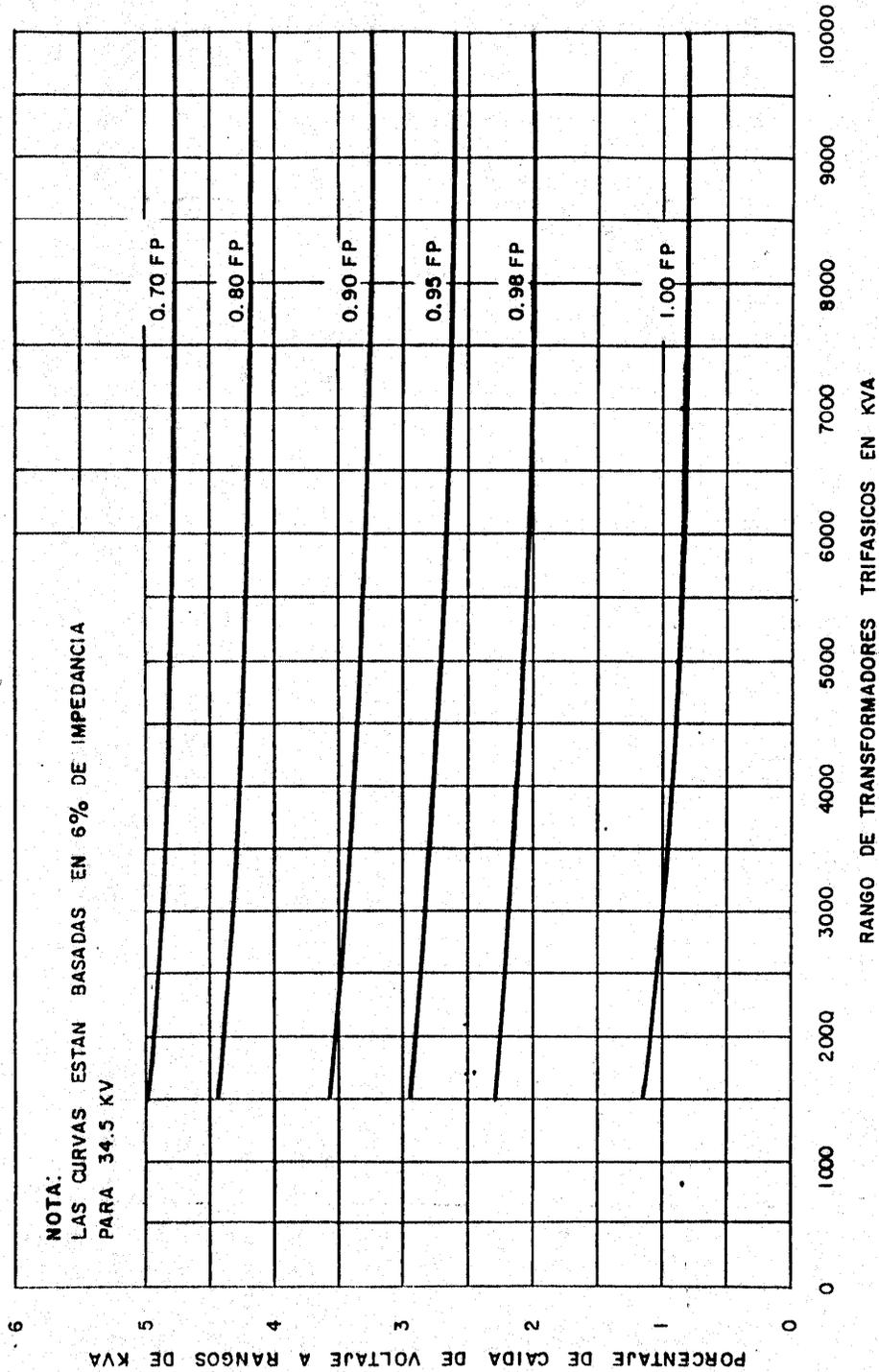


FIG. Nº 6 CURVAS DE CAIDA DE TENSION APROXIMADAS PARA TRANSFORMADORES TRIFASICOS DE 1500 A 10000 KVA Y 34.5 KV

### **2.5.9.- CAÍDA DE TENSIÓN EN TRANSFORMADORES.**

Para el cálculo de la caída de tensión se emplean las figuras 5 y 6 y sirven para transformadores de tensiones primarias de 5 a 25 kV y de 34.5 kV, de los tipos de aceite y seco, trifásicos o monofásicos. Para el caso de un transformador monofásico, se multiplican los kVA por 3.

**EJEMPLO:**

Como primer paso se utiliza la figura No. 5 para transformadores de 5 a 25 kV, con el valor de 2,000 kVA enseguida intersectar con la curva de 0.85 de f.p. y busque el % de caída en el eje vertical, dando por resultado:

Por ciento de caída a plena carga = 3.67

$$\text{Por ciento de caída a } 1,500 \text{ kVA} = 3.67 \times \frac{1,500}{2,000} = 2.75$$

$$\text{Caída de tensión real} = 0.0275 \times 480 = 13.2 \text{ Volts}$$

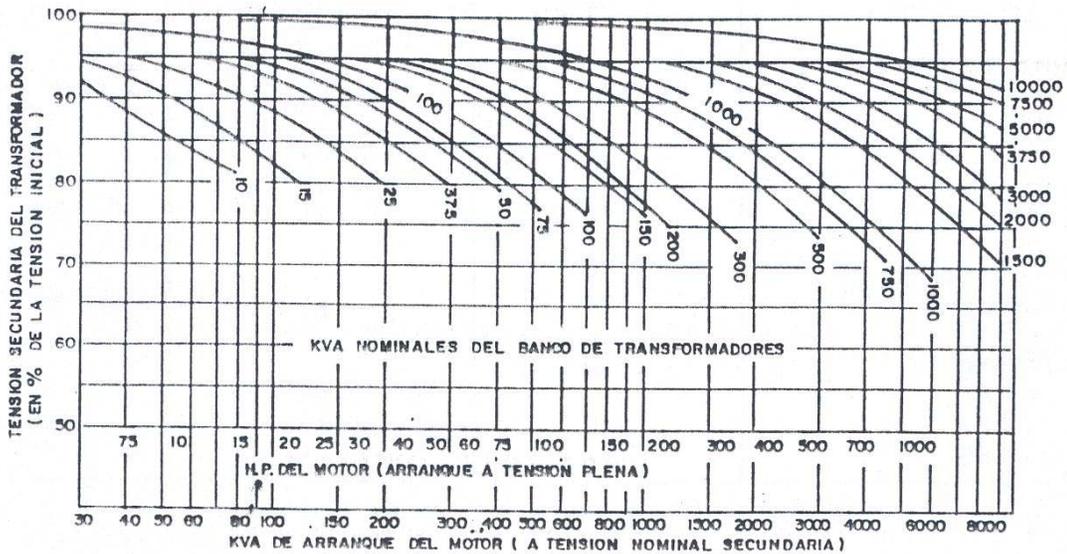
#### **2.5.9.a).- EFECTO DEL ARRANQUE DE MOTORES EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.**

Las corrientes de arranque de los motores están dadas de acuerdo a las letras de código en el artículo 430 de la NOM – 001 – SEP – 1994, por lo general es de 5 a 7 veces la corriente nominal.

Esta corriente elevará la caída de tensión en los conductores y en los transformadores, causando perturbaciones a otros equipos, especialmente al de alumbrado.

La caída de tensión más importante del sistema se da en los transformadores y una forma de calcularla es usando la figura 7.

Si se desean cálculos más exactos, tendrá que considerar la impedancia del transformador y la de los cables; de ahí se determinará si es problemática o no para el sistema.



**NOTAS**

1. ESCALA DEL MOTOR EN H.P. BASADA EN LA CORRIENTE DE ARRANQUE APROXIMADAMENTE 5.5 VECES LA CORRIENTE NOMINAL.

2. LOS KVA DE CORTO CIRCUITO EN EL PRIMARIO, SE SUPONEN COMO SIGUE:

BANCO EN KVA	CORTO CIRCUITO EN KVA EN EL PRIMARIO
10-300	25,000
500-1000	50,000
1500-3000	100,000
3750-10000	250,000

3. SE SUPONEN LOS SIGUIENTES VALORES DE IMPEDANCIA

BANCO EN KVA	IMPEDANCIA DEL BANCO
10-50	3%
75-150	4%
200-500	5%
750 2000	5.5%
3000 10000	6.0%

4. VALORES REPRESENTATIVOS DE CAIDA DE TENSION EN UN SISTEMA PRIMARIO COMO UNA FRACCION DEL TOTAL DE LA CAIDA, SE MUESTRAN A CONTINUACION:

BANCO EN KVA	CAIDA DEL SISTEMA / CAIDA TOTAL
100	0.09
1000	.25
10000	.44

FIG. 34. CAIDA DE TENSION EN UN TRANSFORMADOR DEBIDO AL ARRANQUE DEL MOTOR.

**2.5.9.b).- MÉTODOS DE ARRANQUE DE MOTORES.**

La secuencia de arranque de varios motores debe programarse, a fin de evitar su arranque simultáneo por la magnitud de la corriente de arranque.

Si se desea reducir la corriente de arranque, existen varios métodos, cuyos resultados se resumen a continuación.

TABLA No. 10.- COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS DE ARRANQUE DE MOTORES.

TIPO DE ARRANCADOR	TENSIÓN EN EL MOTOR ( % V DE LÍNEA )	PAR DE ARRANQUE (% DE PAR A TENSIÓN PLENA)	CORRIENTE DE LÍNEA (% DE CORRIENTE A TENSIÓN PLENA)
TENSIÓN PLENA	100	100	100
AUTO TRANSFORMADOR			
TAP A 80%	80	64	68
TAP A 65 %	65	42	46
TAP A 50 %	50	25	30
TIPO DE RESISTENCIA AJUSTADO A 80%	80	64	80
REACTOR			
50%	50	25	50
45 %	45	20	45
37.5 %	37.5	14	37.5

TABLA No. 11. RESUMEN DE NIVELES CRÍTICOS DE TESIÓ EN EL SISTEMA CUANDO SE ARRANCAN MOTORES

LOCALIZACIÓN DE LA CAÍDA DE TESIÓ	VOLTAJE MÍNIMO ACEPTABLE
TERMINALES DE MOTOR	80%
OTROS MOTORES POR REACELERAR	71 %
CONTACTORES (CIERRE DE BOBINA)	85 %
CONTACTORES (RETENCIÓN DE BOBINA)	80 %
CONTROLES ESTÁTICOS	90 %
CAMBIOS NOTADOS EN EL ALUMBRADO	3% DE VARIACIÓN DE VOLTAJE

**2.5.9.c).- EJEMPLO SIMPLIFICADO DEL CÁLCULO DE PERFIL DE TENSIONES EN UNA PEQUEÑA INDUSTRIA.**

En la figura No 34 anexa se muestra un ejemplo de cual podría ser un perfil de tensiones para una planta en la zona centro del país.

Los tres puntos a considerar son:

- a) La S.E. reductora de 85 – 23 kV de la Compañía Suministradora y su red de distribución en 23 kV.
- b) El transformador de distribución del cliente industrial.
- c) La red de distribución en baja tensión dentro de la fábrica.

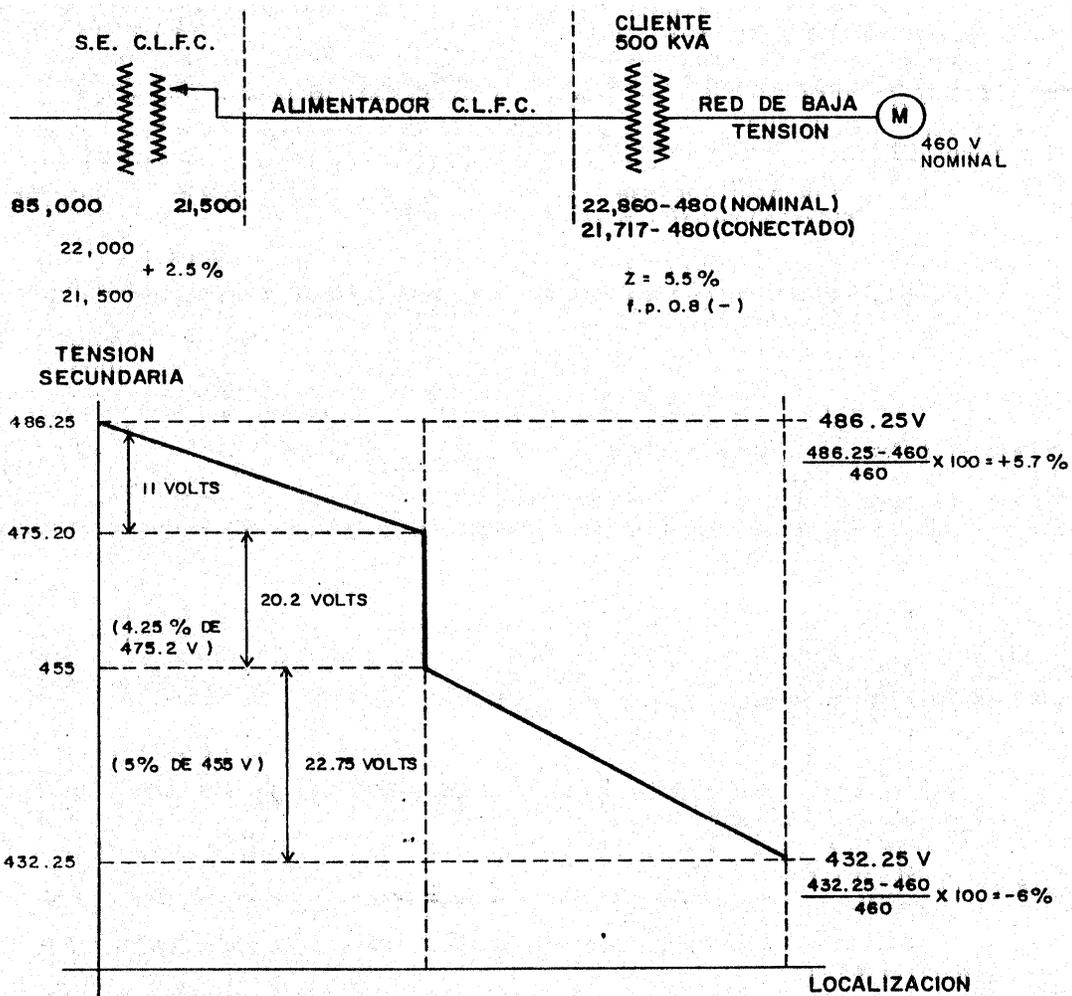
**2.5.9.c.1).- S. E. REDUCTORA DE 85 – 23 kV DE LA COMPAÑÍA SUMINISTRADORA.**

Para compensar la caída de tensión en la línea de distribución de media tensión (alimentador), L. Y F. En sus subestaciones eleva la tensión de 21,500 a 22,037 V., en la hora de mayor carga haciéndose esto de manera automática.

Por el propio desarrollo que ha tenido la red de distribución en media tensión en L. Y F., se trabaja en el 80% de las subestaciones con una tensión nominal de 21,500 Volts, elevándose ésta hasta un 2.5% arriba para compensar la caída de la línea.

En las horas de poca carga, esta tensión baja en forma automática al valor de 21,500 V o ligeramente arriba de él.

**FIG. 34 PERFIL DE TENSION DE UNA PLANTA EN LA ZONA CENTRO DEL PAÍS.**



### 2.5.9.c.2).- TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN MEDIA – BAJA TENSIÓN.

Dadas las condiciones de operación de la línea de distribución se puede operar con un transformador con las siguientes características:

Transformador trifásico, con conexión Delta – Estrella, capacidad 500 kVA, tensión nominal de 22,860 – 480 / 227 V, con cambiador de derivaciones en 4 pasos de 2.5% cada uno, dos arriba y dos abajo; impedancia 5.5%.

Dada la tensión nominal de la red de 21,500 Volts conviene operar el transformador con el cambiador de derivaciones dos pasos abajo, o sea –5%, por lo que la relación de transformación queda:

$$n = \frac{22,860 \times 0.95}{480} = \frac{21,171}{480} = 45.244$$

La caída de tensión en el transformador la calculamos a partir de la gráfica de la figura 5, se supone que el transformador está trabajando a plena carga con el factor de potencia de (-) 0.8, el por ciento de caída de tensión es de 4.25%.

### 2.5.9.c.3).- RED DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN.

De acuerdo con las normas NOM – 001 – SEMP – 1994 el cálculo de la caída de tensión permitir hasta el 5%.

El perfil de tensión de la figura se hace referido al valor en baja tensión que se tendría en el punto de suministro, el motor.

La variación en línea de 21,500 a 22,000 se refleja en baja tensión como se indica a continuación:

$$\frac{22,000}{n} = \frac{22,000}{45,244} = 486.20 \text{ V}$$

$$\frac{21,500}{n} = \frac{21,500}{45,244} = 475.20 \text{ V}$$

Para calcular la caída de tensión en el transformador de 500 kVA, se aplica la tensión de 475.20 V.

Esto es:

$$E_t = 0.0425 \times 475.20 = 20.2$$

Por lo tanto, la tensión en el secundario del transformador será:

$$V_{st} = 475.20 - 20.2 = 455 \text{ V}$$

Al valor anterior se le aplica el 5% de la caída de tensión en la red de baja tensión:

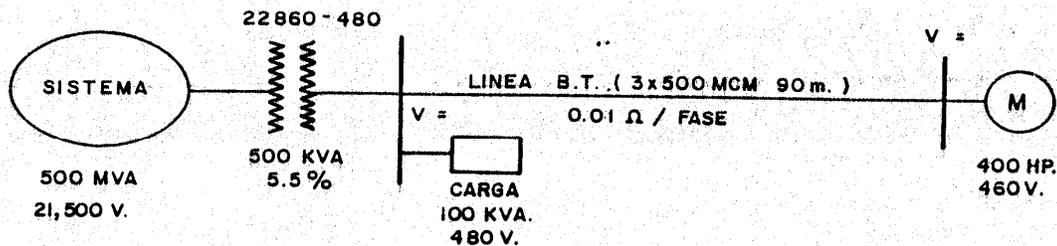
$$E_{bt} = 455 \times 0.05 = 22.75 \text{ V}$$

La tensión más baja que podría haber en el motor será:

$$V_m = 455 - 22.75 = 432.25 \text{ V}$$

Que es un 6% debajo de la tensión nominal de 460 Volts, lo cual es aceptable.

### 2.5.9.d).- EJEMPLO DE CÁLCULO DE CAÍDA DE TENSIÓN EN UN SISTEMA POR EL ARRANQUE DE MOTORES.



Ejemplo:

Dado el sistema anterior ¿Cuál será la tensión  $V_1$  en la carga adyacente al transformador de 500 kVA durante el arranque de un motor de, 400 H.P.? Y ¿Cuál será la tensión  $V_2$  en el propio motor durante su arranque?

Solución:

Dadas las características se tratará el problema en forma muy parecida a un estudio de corto circuito. Empleando el método de "POR UNIDAD" para reducir las impedancias del sistema a una sola base.

Datos Base:

Potencia base: 500 kVA

Tensión base 0.48 kV

### 2.5.9.e).- CÁLCULO DE LAS IMPEDANCIAS.

Por simplificación del ejemplo, los valores de impedancia que se consideran están dados en **valor absoluto**. Así se puede sumar aritméticamente haciendo caso omiso del ángulo. En un caso real se recomienda tomar en cuenta los valores vectoriales para mayor exactitud.

a) Sistema:

$$\text{Transformador; } Z_{\text{sistema}} = \frac{500}{500,000} = 0.001 \text{ p.u.}$$

b) Carga adyacente:

$$I = \frac{100}{3 \times 0.48} = 120 \text{ A}$$

$$Z_c = \frac{V}{I} = \frac{480/3}{120} = 2.3 \text{ OHMS}$$

c) Motor de 400 H.P al arranque:

Se considera que 1 H.P.= 1 kVA y una corriente de arranque de 6 veces la nominal. La tensión nominal del motor es de 460 V.

$$I_{\text{nom}} = \frac{400}{3 \times 0.46}$$

$$Z_{MA} = \frac{V_f - n}{I_{\text{nom}} \times 6} = \frac{460/3}{\frac{400}{3 \times 0.46} \times 6}$$

$$Z_{MA} = 0.088 \text{ OHMS}$$

$$Z_{MA} = (0/1) = \frac{0.088 \times 500}{(0.48)^2 \times 1000^2}$$

$$\underline{Z_{MA} = (0/1) = 0.191}$$

EN POR UNIDAD:

$$z(0/1) = \frac{Z \text{ OHMS} \times kVA}{(kV)^2 \times 1000}$$

$$Z(0/1) = \frac{2.3 \times 500}{(0.48)^2 \times 1000} = 5(0/1)$$

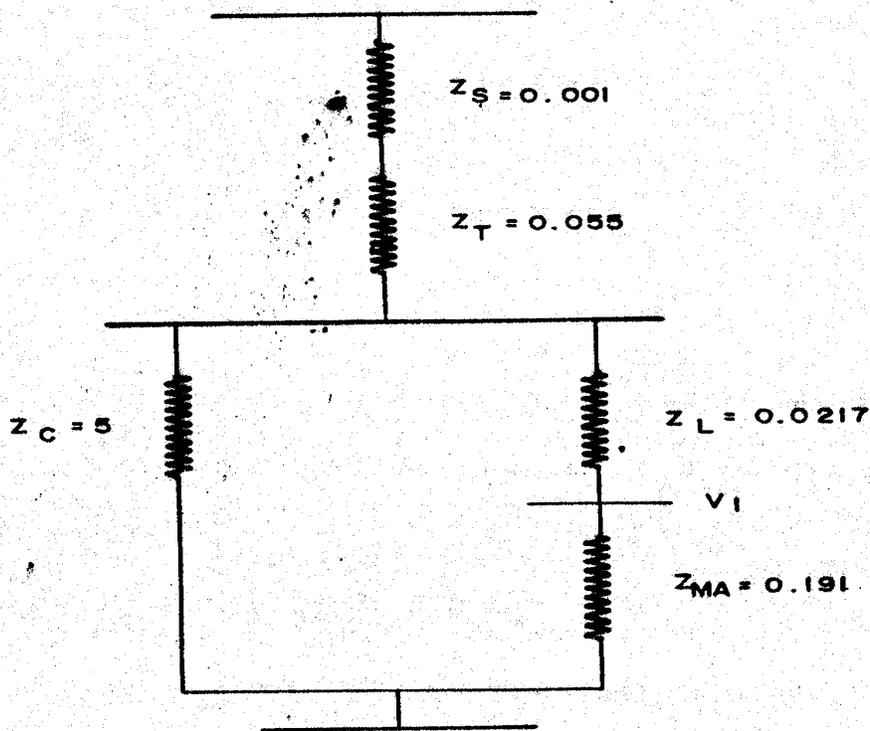
$$\underline{Z(0/1) = 5}$$

**2.5.9.f).- LINEA EN BAJA TENSION:**

$$Z_L = 0.01 \text{ OHMS}$$

$$Z(0/1) = \frac{0.01 \times 500}{(0.48)^2 \times 1000} = 0.0217 \text{ p.u.}$$

$$Z_L = (0/1) = 0.0217$$



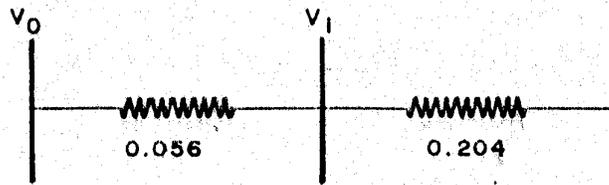
### REDUCIENDO EL DIAGRAMA:

$$ZS + ZT = 0.001 + 0.055 = 0.056$$

$$ZL + ZMA = 0.0217 + 0.191 = 0.2127$$

$$Z \parallel (ZL + ZMA) = \frac{5 \times 0.217}{5 + 0.2127}$$

### EL DIAGRAMA QUEDA REDUCIDO:



$$Z_{TOT} = \boxed{0.26} \text{ (p.u.)}$$

$$I_{TOT} = \frac{1}{Z_{TOT}} = \boxed{3.846} \text{ (p.u.)}$$

### LA TENSIÓN $V_1$ :

$$V_1 = V_0 - IT(ZS + ZT)$$

$$V_1 = 1.0 - 3.846(0.056)$$

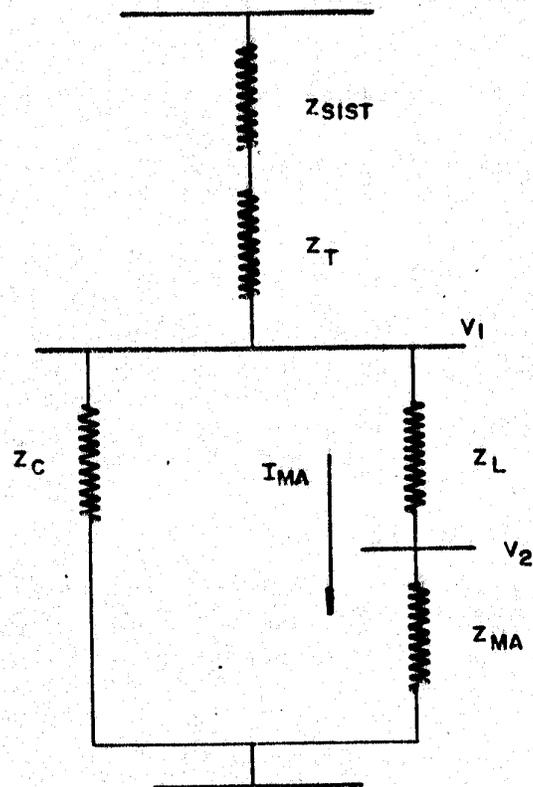
$$V_1 = 0.785 \text{ p.u.}$$

$$V_1 = (0.785)VB = (0.785)(480)$$

$$\underline{V_1 = 376.8 \text{ V}}$$

### CÁLCULO DE LA TENSIÓN $V_2$ :

Primero se calcula el valor real de la corriente de arranque del motor, considerando que el mismo arranque, la tensión en  $V_1$  es 0.785 p.u. (376.8 V).



$$IMA = \frac{V_1}{Z_L + Z_{MA}} = \frac{0.785}{0.217 + 0.191}$$

$$IMA = \frac{0.785}{0.2127} = 3.69 \text{ (0/1)}$$

**LA TENSIÓN V<sub>2</sub>:**

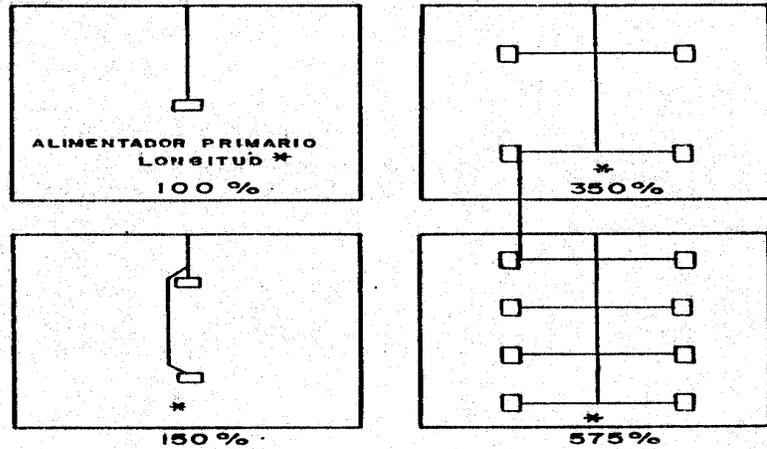
$$V_2 = V_1 - Z_L \times IMA = 0.785 - (0.0217)(3.69)$$

$$V_2 = 0.7049 \text{ p.u.}$$

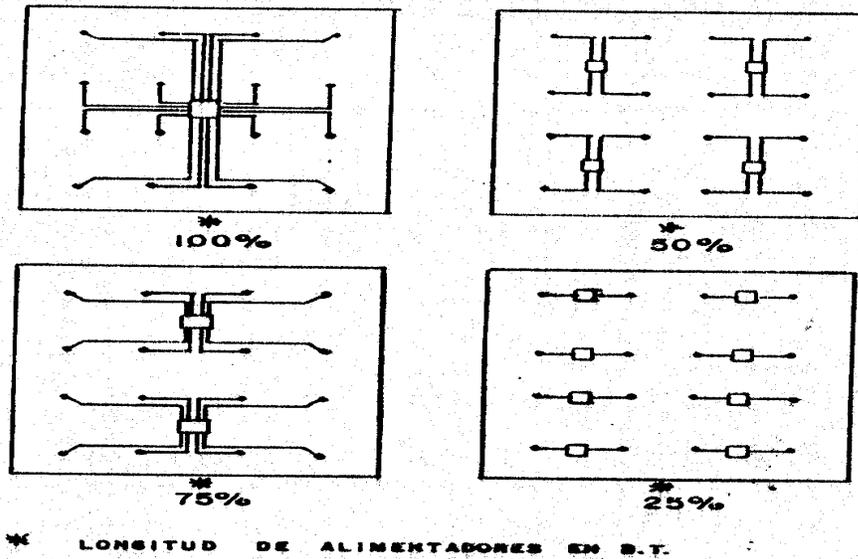
$$V_2 = 0.7049 \times 480 = 338 \text{ V}$$

Con relación a la tensión nominal de 460 volts, la caída es del orden:

$$\% e = \frac{460 - 338}{460} \times 100 = 26\% \text{ (Caída de tensión)}$$



**FIG. 35 DIAGRAMA UNIFILAR QUE MUESTRA CUANDO AUMENTA LA LONGITUD DEL CABLE DEL ALIMENTADOR PRIMARIO, CUANDO AUMENTA EL NÚMERO DE SUBESTACIONES EN EL ÁREA.**



**FIG. 36 DIAGRAMA UNIFILAR QUE MUESTRA COMO DISMINUYE LA LONGITUD DEL CABLE DE UN ALIMENTADOR SECUNDARIO AL AUMENTAR EL NUMERO DE SUBESTACIONES EN ESTA ÁREA.**

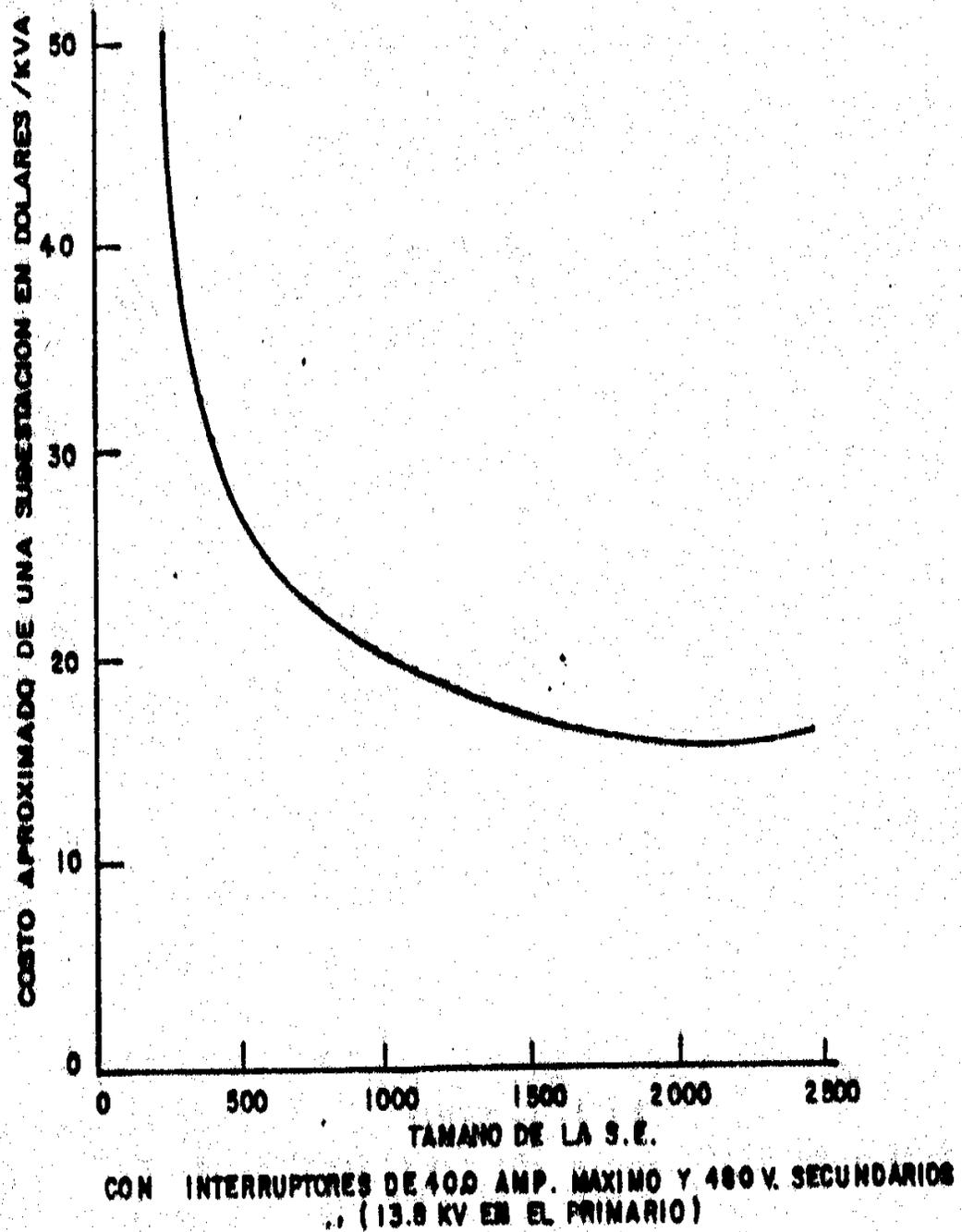


FIG. 37 PATRÓN TÍPICO DE COSTO – KVA DE UNA SUBESTACIÓN.

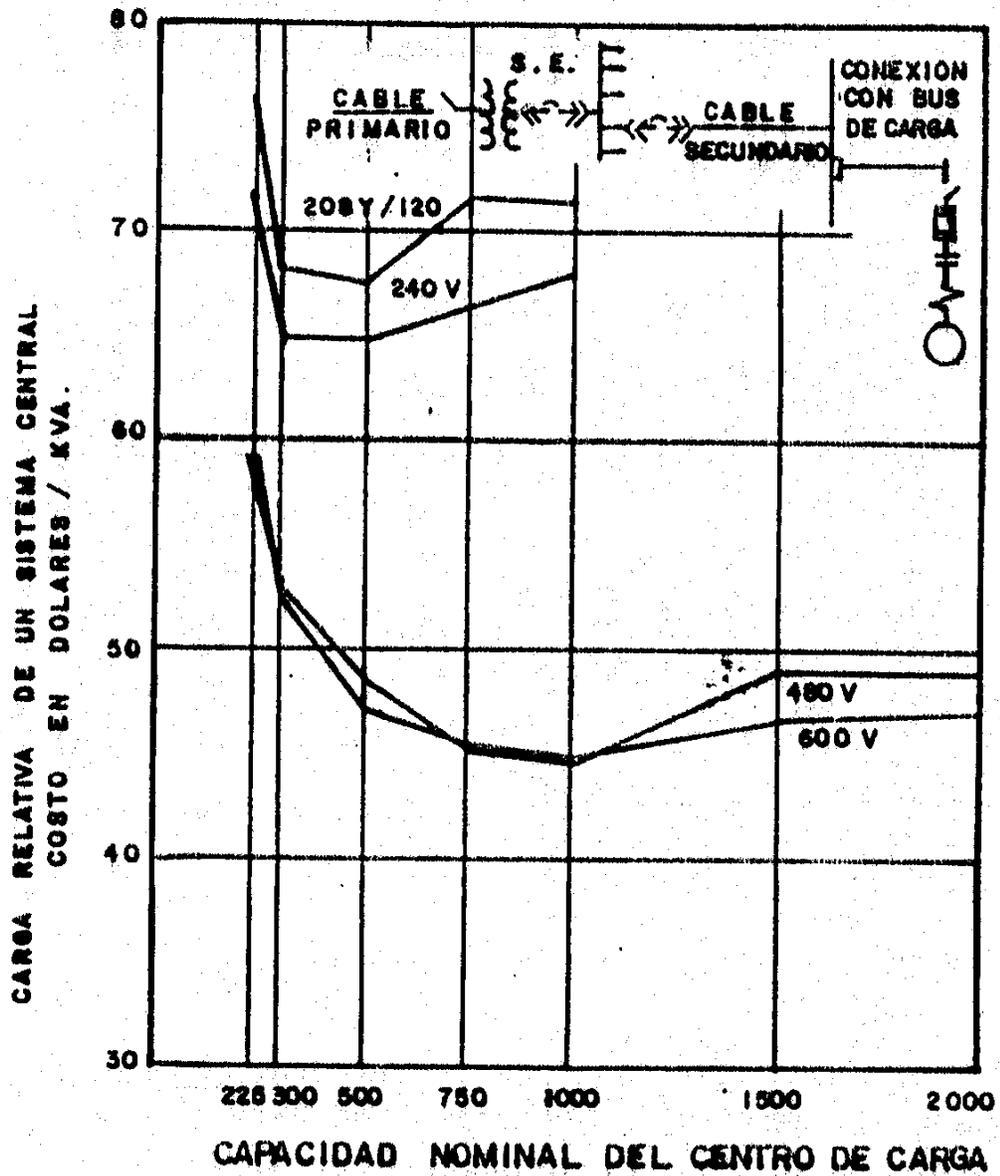


FIG 38 COSTO COMPARATIVO DE UN SISTEMA DE CARGA RADIAL A 208 Y / 120, 240, 480 Y 600 V.

PARA TENSIÓN DE UTILIZACIÓN SELECCIONAR  
480 V

EXITE MENOR DISPONIBILIDAD DE MOTORES,  
CONTROLES, ETC. DE 550 A 600 v QUE PARA 440v

480 VS. 240

	<u>240 V</u>	<u>480 V</u>
DISPONIBILIDAD DE EQUIPO	MISMO	
COSTO	135%	100%
PÉRDIDAS	MAYORES	MENORES
CAÍDA DE TENSIÓN	MAYORES	MENORES

FIG. 39 FACTORES COMPARATIVOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TENSIÓN DE UTILIZACIÓN EN CLASE 600 v

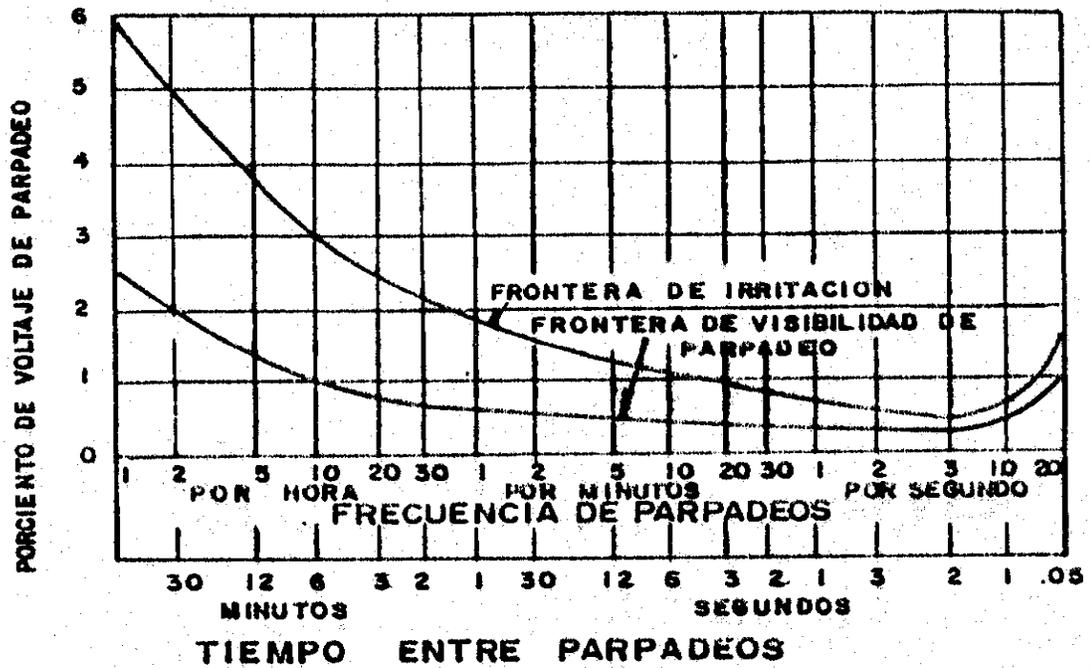


FIG. 40 EFECTO EN TENSIONES RECURRENTE DE PARRADEFEO EN LAMPARAS INCANDESCENTES.

### **CAPITULO 3.- ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO.**

*El robo de energía eléctrica en el país, a través de toma clandestina y alteración del funcionamiento de los medidores, asciende a 30 % del total de la electricidad que se comercializa anualmente, afirma invensys secure power. La empresa especialista en soluciones integrales para el suministro de energía eléctrica, precisa que para enfrentar este problema las empresas perfeccionan procedimientos operativos y dispositivos de ayuda para la detección de los ilícitos.*

*Sin embargo los consumidores deshonestos también afinan sus prácticas ilegales y a pesar de los avances tecnológicos en el campo de la medición, el consumidor infractor ha resultado ganador.*

*En su análisis “detección de robos de energía eléctrica” indica que a pesar de lo grave del problema, apenas empieza a manifestarse una tendencia hacia la aplicación de los avances en dispositivos y técnicas de medición en la detección de los robos de energía.*

*Ello se pone de manifiesto, en los medidores electrónicos y en los de lectura automática de medición.*

*Precisa que la practica común de clasificar las perdidas de energía eléctrica son técnicas y no técnicas.*

*Las primeras se presentan en elementos y en equipos de circuitos eléctricos, advierten son las que se han convertido en un grave problema para las compañías de electricidad, particularmente los de tipo fraudulento por parte de los consumidores deshonestos.*

*De esta manera, se deja entrever que los robos de la energía eléctrica se hacen desde las comunes tomas clandestinas (diablitos) hasta las más sofisticadas y costosas intervenciones de los equipos de medición de las compañías.*

*Las investigaciones de la empresa revelan, asimismo que estos robos son en gran parte las causantes de la mala calidad de energía eléctrica que producen pérdidas económicas a usuarios.*

#### **“50 MIL DOLARES DE PERDIDAS”.**

*Se manifiesta que dentro del sector industrial mexicano, un minuto de interrupción en la energía eléctrica significa dos horas de paro en la producción y son costos que ya no se pueden recuperar, pues el tiempo no se detiene y donde las pérdidas económicas son desde 50 mil dólares por hora.*

#### **3.1.- COSTO DE REGULADORES.**

*Para el estudio económico es importante tomar en cuenta además de las ventajas técnicas, los siguientes puntos principales:*

- *Costo de equipo.*
- *Costo de accesorios.*
- *Vida supuesta del equipo.*
- *Refacciones.*
- *Capacitación.*
- *Instructivos.*
- *Garantía e impuesto.*
- *Costo final unitario.*

*Del cual el estudio técnico económico nos sirve para obtener la solución de cualquier problema de ingeniería, dando como resultado flexibilidad y estabilidad a un sistema.*

*El equipo se debe de adaptar a las necesidades del cliente, tomando en cuenta que las especificaciones de cada fabricante se someten a rigurosas pruebas de comparación para la elección del más económico y que cumplan estrictamente con las condiciones técnicas.*

*Para darnos una idea del costo de un regulador estamos hablando que tiene un costo aproximado de 36,576 UDS, el cual corresponde a un modelo completamente digital (TAPCOM 260). Que cuenta con una garantía de dos años exclusivamente para eventuales fallas de producción y la garantía se dará a partir de la fecha de adquisición del regulador.*

*La garantía no cubre daños sufridos causados por consecuencias de accidentes, maltratos, operación incorrecta, instalación y aplicación incorrecta o rotura de la estampa de garantía.*

*Las reparaciones deben ser hechas estrictamente por el fabricante o en su caso por un taller especializado del comprador en su caso luz y fuerza del centro tiene talleres especializados y certificados en el manejo y mantenimiento de equipo eléctrico.*

*En el caso para el mantenimiento de los reguladores se encarga el departamento de mantenimiento eléctrico sección electrónica.*

### **3.2.- BENEFICIOS ECONOMICOS PARA EL USUARIO.**

*En cuanto se tiene una pésima regulación de voltaje se tendrán pérdidas de económicas de facturación por concepto de kilowatts consumidos. Lo cual es de vital importancia con un sistema apropiado para una buena regulación.*

*En condiciones de bajo voltaje en diferentes equipos como son: motores, hornos eléctricos, etc., tendrán un bajo voltaje tan grande como sea la potencia de consumo, de lo cual se considera la caída de tensión desde la generación hasta el lugar de consumo, para así obtener un voltaje deseado en la carga.*

*El regulador nos ayuda a mantener un voltaje adecuado en el alimentador, obteniendo un voltaje mínimo, no menor al voltaje nominal de la carga y un voltaje máximo, igual al máximo permisible, que dependerá de las características de la carga durante las horas pico (horas de mayor demanda).*

*El beneficio del usuario tanto en mediana y baja tensión es tener un nivel de voltaje de acuerdo al reglamento de la ley del servicio público de energía eléctrica.*

*Que da como resultado la buena operación de sus equipos y no llegarse a dañar ya sea por bajo o alto voltaje ocasionando perdidas de producción.*



## **CONCLUSIONES.**

*Para tener un voltaje adecuado a lo largo de un alimentador, además del diseño correcto del mismo, se requiere contar con un sistema que mantenga al voltaje de los valores permisibles, este sistema consiste en la instalación de reguladores automáticos de voltaje en las subestaciones.*

*El tener un voltaje, adecuado es el resultado final de todo el proceso que sigue, desde la generación hasta el usuario además de que la compañía suministradora evitara perdidas en su economía por concepto del consumo de energía eléctrica.*

*Por ultimo, se puede tomar como recomendación vigilar el buen funcionamiento de los reguladores de voltaje, realizando una revisión a los valores de compensación por caída de línea e implantando programas de revisión periódica, independientemente de las quejas que se reciben por parte de los usuarios.*

*Luz y fuerza del centro (Lyfc), la segunda empresa eléctrica de México, reconoce que carece de capacidad para atender nuevas solicitudes de suministro eléctrico, por lo que incluso a tenido que negar el servicio, esta*

*negativa es por que no se tiene capacidad en las subestaciones ni en alimentadores. el crecimiento de solicitudes de servicio y la creciente demanda rebasa la demanda. para tal efecto esto no se puede resolver a corto o mediano plazo de ahí la necesidad de dar continuidad a diversos proyectos de expansión en zonas reconocidas como prioritarias.*

*tal es el caso de la construcción y puesta en servicio de 14 plantas generadoras con capacidad de 32 mega watts, cada una, como parte del proyecto de generación distribuida, aunque nueve están operando y el resto enfrenta la negativa de autoridades delegacionales para otorgar los permisos correspondientes para la construcción de ductos de gas natural que van a alimentar a cinco plantas, por lo que el problema para el centro y zonas conurbanas tiende a agravarse si no hay mas inversión.*

## **BIBLIOGRAFÍA.**

REGLAMENTO DE OPERACIÓN  
LUZ Y FUERZA DEL CENTRO.

LEY DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGIA ELECTRICA PUBLICADA EN EL  
DIARIO OFICIAL POR EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA LUIS  
ECHEVERRIA ALVAREZ.

ININ  
INFORMATICA E INGENIERIA INTEGRAL  
GENERACIÓN DISTRIBUIDA Y SU INTERCONEXIÓN CON SISTEMAS  
ELECTRICOS DE POTENCIA.

MANUAL DE DISEÑO DE SUBESTACIONES.  
LUZ Y FUERZA DEL CENTRO.

TESIS.  
DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN AEREA DE 23 KV.  
ING. ADRIAN EDUARDO CID GARCIA.  
ING. JESUS DIONICIO VALDES SAMPAYO.

MANUAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA TOMO I.  
DONALD G. FINK / H. WAYNE BEATY.  
EDIT. Mc GRAW HILL.  
MÉXICO 1995.

MANUAL DE INGENIERÍA ELECTRICA TOMO II.  
DONALD G. FINK / H. WAYNE BEATY.  
EDIT. Mc GRAW HILL.  
MÉXICO 1995.

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL INGENIERO DE REGULACIÓN.  
(DISTRIBUCIÓN PRUEBAS)  
LUZ Y FUERZA DEL CENTRO.

LIBRO DE INSTRUCCIONES  
CONTROL DE CONMUTADOR DIGITAL M-2001B.  
BECKWITH ELECTRIC CO. INC.

SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGIA ELECTRICA.  
ING. JOSE DOLORES JUAREZ CERVANTES.  
EDIT. UAM.  
MEXICO 1995.

*INSTALACIONES ELECTRICAS EN ALTA TENSION I.*  
*ING. JOSE DOLORES JUAREZ CERVANTES*  
*EDIT. IPN.*

*INSTALACIONES ELECTRICAS EN ALTA TENSION II.*  
*ING. JOSE DOLORES JUAREZ CERVANTES.*  
*EDIT. IPN.*

***PAGINAS EN INTERNET:***

*<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/>.*

*<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/transmisionydistribution/>.*

*[http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_1917\\_generacion\\_distribui](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_1917_generacion_distribui)*

*<http://www.energiaadebate.com.mx/Articulos/Diciembre%202004/Subestacione s.html>*

**Las futuras redes de Distribución deben ser altamente confiables, amigables al medio ambiente, que abastezcan el servicio público esencial, y que soporte las aspiraciones económicas de todo tipo de usuarios.**

