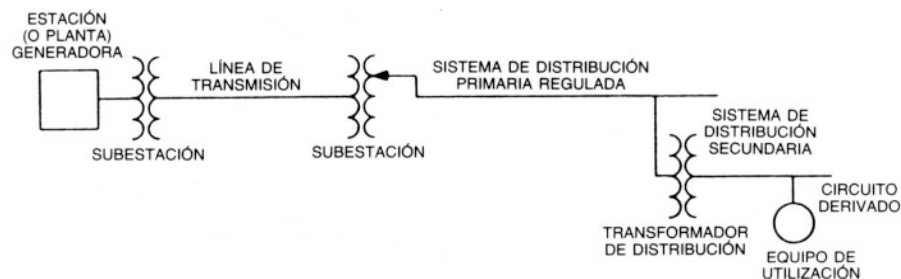


## CAPÍTULO 4

### REGULADORES DE TENSIÓN

#### 4.1 FLUCTUACIÓN Y REGULACIÓN DE TENSIÓN

Para una tensión nominal específica, las tensiones que realmente existen variarán según la ubicación. Esto se ilustra mediante el diagrama unifilar de la figura 4.1 para un sistema de suministro típico. Cada sección del sistema tiene una caída de tensión asociada que depende de la carga (corriente) y del factor de potencia, los cuales pueden variar en el tiempo. Los transformadores de la subestación que alimenta al sistema de distribución primaria generalmente cuentan con equipos de cambio de derivaciones bajo carga. Este equipo cambia la relación de espiras del transformador, lo que hace posible mantener la tensión de distribución primaria en el extremo abastecedor, dentro de un intervalo reducido para diferentes condiciones de carga.



**Fig. 4.1** Sistema típico de generación, transmisión y distribución de un servicio de suministro de energía eléctrica

La norma NOM-001-SEDE-2005 contiene dos clasificaciones de tolerancia de tensión, o fluctuaciones, que se consideran aceptables en condiciones específicas. Las clasificaciones son el intervalo A, que especifica los límites según la mayoría



de las condiciones de operación, y el intervalo B, que permite desviaciones menores fuera de las limitaciones del intervalo A.

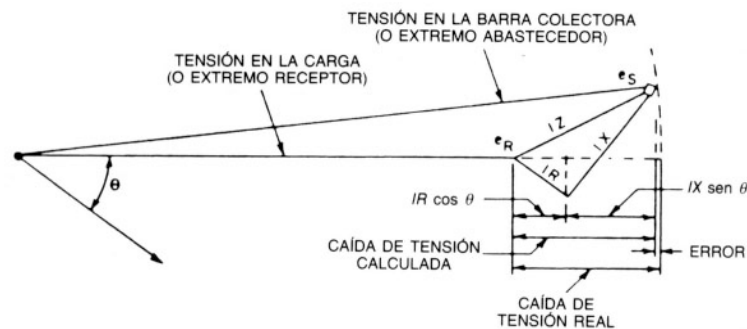
Estas clasificaciones se determinaron considerando los efectos de las variaciones de tensión sobre el rendimiento y la vida útil de diversos tipos de equipo de utilización. La responsabilidad del fabricante y del abastecedor de equipo según los intervalos A y B es como sigue: “El equipo de utilización será diseñado y clasificado para desarrollar un rendimiento satisfactorio en todo el intervalo A y, hasta donde sea practicable, estará diseñado para un rendimiento aceptable en los límites extremos del intervalo B, aunque no necesariamente sea tan bueno como en el intervalo A. Para el abastecedor o proveedor, su sistema debe estar diseñado y operado de manera que la mayor parte de las tensiones de servicio estén dentro del intervalo A de tensiones de servicio. Las desviaciones de la tensión de servicio dentro de los límites extremos del intervalo B han de ser limitados en extensión, frecuencia y duración. Cuando ocurran, la acción correctiva debe emprenderse dentro de un tiempo razonable para mejorar la tensión a fin de que quede dentro de los límites del intervalo A.

El intervalo de tolerancias de tensión definido en la norma NOM-001-SEDE-2005 para el intervalo A, expresado en función de un sistema nominal de 120 V, está entre un máximo de 126 y un mínimo de 110 V para equipo de alumbrado y de 108 V para equipo que no es de alumbrado. El perfil de estos límites permite una caída de nueve volts en el alimentador de distribución primaria, una caída de tres volts en el transformador de distribución, una caída de cuatro volts en el instalación de equipo de alumbrado en el edificio y una caída de seis volts en la instalación de la edificación para equipo que no es de alumbrado. Esto supone que el transformador de la subestación está provisto de un equipo de cambio de derivaciones bajo carga para mantener esencialmente constante la tensión en el extremo abastecedor del sistema de distribución primaria. En el caso de edificaciones comerciales, la responsabilidad del mantenimiento de la caída de

tensión de la distribución primaria, y probablemente la caída de tensión del transformador de distribución dentro de los límites, corresponde al servicio de suministro.

En plantas industriales, que dependen de la tensión de suministro y de la extensión y carga de la planta, la responsabilidad de mantener la caída de tensión dentro de los límites para las tres partes del sistema generalmente corresponde al consumidor de electricidad.

Debido a la relación fasorial entre las tensiones y las corrientes, la caída de tensión en resistencia y reactancia y la caída de tensión total en una parte dada del sistema no sólo dependen de la corriente, sino también del factor de potencia de la carga. En la figura 4.2 se muestra un diagrama fasorial de las relaciones de tensión y corriente para calcular una caída de tensión en una parte dada del sistema. Para los factores de potencia usuales encontrados, puede deducirse una fórmula aproximada calculando la caída de tensión  $V_d$



**Fig. 4.2** Diagrama fasorial de relaciones de tensión para cálculos de caídas de tensión.

La fórmula es:

$$V_d = IR \cos \theta + IX \sin \theta$$



donde:

$V_d$  = Caída de tensión en la línea de circuito a neutro (de un conductor) (esto supone carga trifásica equilibrada), V

$I$  = Corriente que fluye en un conductor o transformador, A

$R$  = Resistencia de un conductor o fase del transformador,  $\Omega$

$\theta$  = Ángulo entre tensión de carga y corriente de carga, el cual es también el ángulo cuyo coseno es el factor de potencia de la carga

$\cos \theta$  = Factor de potencia de la carga (valor numérico)

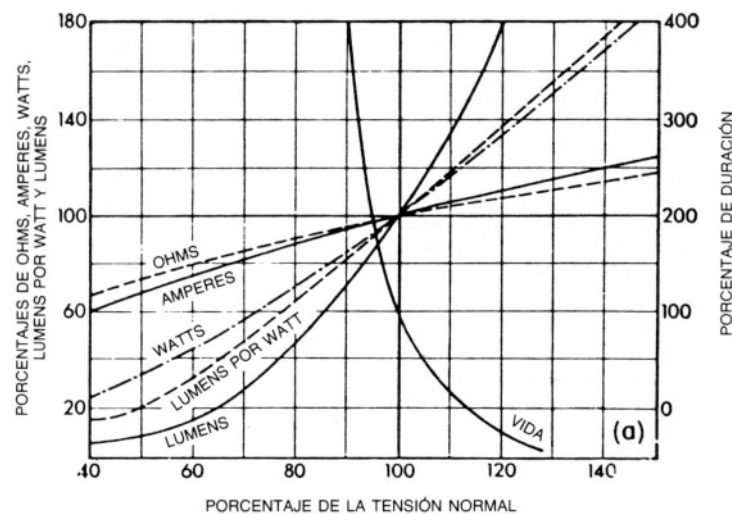
$\sin \theta$  = Factor reactivo de la carga (valor numérico)

A fin de obtener la caída de tensión entre línea y línea en un sistema trifásico se multiplica por  $\sqrt{3}$  la tensión de línea a neutro. En el caso de cargas monofásicas, utilizando una disposición de dos cables sin neutro, o para cargas monofásicas equilibradas (o balanceadas) en un sistema monofásico trifilar, se multiplica por dos la caída de tensión entre línea y neutro para obtener la caída de tensión entre línea y línea. Para cargas desequilibradas, se debe calcular la caída de tensión en el neutro e incluirla en la caída total.

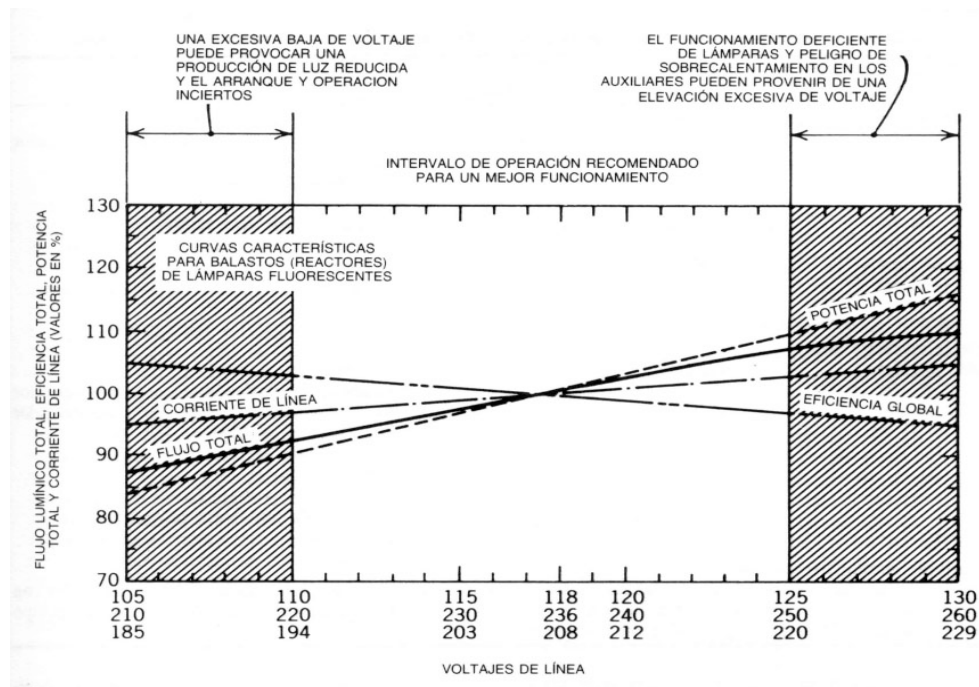
Efecto de las variaciones de tensión sobre el equipo de utilización: aunque el equipo de utilización debe diseñarse para tener un rendimiento satisfactorio dentro de la fluctuación admitida de la tensión de utilización, cualquier desviación de aquél respecto del valor nominal del equipo dará por resultado una reducción en la vida o el rendimiento del equipo. El efecto puede ser menor o grave, dependiendo de las características del dispositivo y de cuán grande o prolongada sea la desviación.

Los efectos de las variaciones de tensión en algunos equipos de utilización se muestran en las *figuras 4.3 y 4.4*. En los motores de inducción los efectos más significativos son: con un tensión bajo se reduce el par de arranque y se

incrementa la elevación de temperatura a plena carga; en el caso de alta tensión, se incrementan la corriente de arranque y el par de rotación, y disminuye el factor de potencia. El mayor par puede causar daños al acoplamiento o al equipo impulsado. Para las lámparas incandescentes, el efecto más notable es que la tensión elevada reduce drásticamente la vida de las lámparas, como se ilustra en la *figura 4.4*. Las lámparas fluorescentes resultan menos afectadas por las variaciones de tensión que las incandescentes.



**Fig. 4.3** Características de las lámparas incandescentes en función de la variación de tensión



**Fig. 4.4** Características de las lámparas fluorescentes en función de la tensión aplicada en el balastro

Las máquinas síncronas son afectadas en forma semejante a como ocurre con los motores de inducción, excepto que el par de arranque varía directamente con el tensión, a menos que la excitación de campo de CD varía con el tensión de alimentación.

El rendimiento lumínico de las lámparas de descarga de alta intensidad es afectado por el tensión en forma parecida a como ocurre con las lámparas incandescentes; sin embargo, con una bajada aproximada del 20% en el tensión se extinguirá el arco. La lámpara no puede volver a encenderse hasta que se enfría y condense el mercurio reduciendo su presión interna, lo cual toma de cuatro a ocho minutos, a menos que se utilice un equipo de enfriamiento especial. El encendido repetido puede reducir la vida de la lámpara, puesto que la duración está relacionada inversamente con el número de arranques. Para capacitores, la potencia reactiva de entrada en kilovars varía con el cuadrado de la tensión, así que existirá una menor capacidad a tensiones reducida. Si la fluctuación o las



condiciones de tensión no están dentro de los límites aceptables, se deben considerar los siguientes cambios básicos para corregir la condición deficiente:

1. Llevar la energía a una tensión más alta y más cerca de la carga, y reducir la distancia recorrida a la tensión más baja.
2. Reducir la impedancia del sistema.
3. Utilizar equipo de regulación para compensar las caídas de tensión.
4. Emplear capacitores conectables por interruptores en derivación (*shunt*) o posiblemente en serie.

Puesto que la caída de tensión es función de la corriente y la impedancia, con una reducción en éstas disminuirá la caída. Algunos cambios posibles para reducir las caídas son:

- Utilizar conductores espaciados, como, por ejemplo, cables en lugar de alambres descubiertos para reducir la reactancia.
- Utilizar barra colectora de baja tensión de construcción interfoliada para lograr una corriente más uniforme a través de la barra.
- Emplear dos o más cables más delgados en paralelo en vez de uno grueso para reducir la caída de tensión.
- Usar transformadores de baja impedancia (no obstante, es necesario que sea investigada la mayor corriente de corto circuito).
- Corregir el factor de potencia en el equipo de utilización con capacitores en derivación (*shunt*).

Los transformadores más modernos tienen derivaciones en el embobinado para cambiar la relación de espiras. El cambio de las derivaciones no modifica la fluctuación de tensión, sino sólo el nivel de tensión media. Aún cuando tal cambio se implemente, puede no ser posible lograr la tensión requerida y tener que



instalar un regulador de tensión. En la tabla 1.2 se resumen y exponen algunas técnicas para mejorar las condiciones de tensión deficiente.

Además de la fluctuación de tensión, se deben investigar otras tres características de éste en un sistema de distribución de plantas industriales o edificios comerciales: el desequilibrio de tensión de fase, las variaciones transitorias de tensión y los armónicos. Puesto que es común en sistemas de distribución de tipo estrella de cuatro hilos y conexión a tierra alimentar cargas monofásicas entre línea y neutro, pueden ocurrir caídas de tensión desiguales en las fases.

Los motores polifásicos se diseñan para funcionar satisfactoriamente con un desequilibrio de tensión de fase limitado al uno por ciento. El desequilibrio de tensión se define como el cociente de la desviación máxima del tensión de fase de cualquier línea o neutro entre el promedio de los tensiones de las tres fases. El porcentaje de desequilibrio es este tensión máximo de desviación dividido entre el promedio y multiplicado por 100 para obtener el tanto por ciento. En algunos motores este desequilibrio de tensión origina un desequilibrio exagerado de corrientes y el correspondiente incremento en el calentamiento en cierto devanado. Este es especialmente un problema en motores sellados de modo hermético, que normalmente operan a altas densidades de corriente. Debido a esta característica puede requerirse un sistema de distribución separado para motores polifásicos en la instalación.

Las tensiones transitorias pueden ser causadas por dispositivos conectados al sistema, así como por fuentes externas, como un rayo. En el caso de sobretensiones (picos de tensión) se deben considerar los supresores de tensiones transitorios. Esto es especialmente importante si se conecta al sistema equipo sensible de computación o electrónico.





Las bajas o descensos de tensión en plantas industriales y en edificios comerciales generalmente son originadas por el arranque de motores, aunque la conexión o desconexión de alguna carga grande producirá variaciones de tensión repentinas. Tales variaciones de tensión de corta duración, según su magnitud y la frecuencia del hecho, pueden dar por resultado un parpadeo molesto en el equipo de alumbrado. La *figura 4.5* es una gráfica del intervalo de parpadeo perceptible y objetable. Éstos son valores medios que provienen de una serie de pruebas, pero si existen descensos de tensión en las regiones definidas en esta figura, se debe considerar la acción correctiva. Algunas veces se requiere un alimentador independiente para el alumbrado a fin de resolver el problema. El arranque a tensión reducido, el arranque con resistencia a reactor, o la conexión de capacitores en paralelo durante el arranque reducirán la corriente inicial tomada por los motores.

Los armónicos son múltiplos enteros de la frecuencia del sistema (60Hz) y están originados por dispositivos no lineales que se conectan al sistema. Todos los dispositivos ferromagnéticos pueden potencialmente producir tensiones y corrientes armónicas. Entre estos dispositivos se incluyen los transformadores, motores y reactores con núcleo de hierro. Asimismo, las lámparas de descarga de gas, equipo de soldadura por arco y rectificadores, y dispositivos de interrupción, tales como los rectificadores controlados por fase (dispositivos de control de velocidad variable y atenuadores de luz), pueden originar tensiones y corrientes armónicas.

Los efectos de las armónicas varían ampliamente en diferentes partes del sistema y afectan a los dispositivos de modo diverso. Los sistemas de comunicación adyacentes son particularmente sensibles a las armónicas, y deben de tomar precauciones especiales para aislar estos sistemas o suprimir las armónicas.

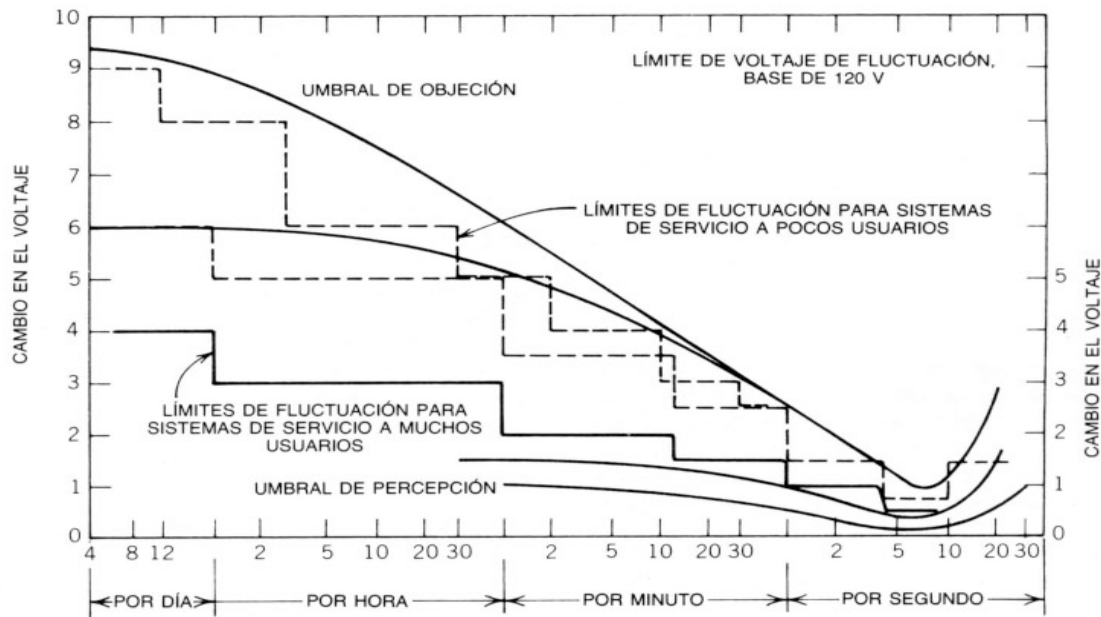


Fig. 4.5 Límites de tensión en parpadeo

## 4.2 DEFINICION DE REGULADOR DE TENSIÓN.

Son aquellos equipos que proporcionan una tensión estable para cumplir con los requisitos de ciertos aparatos tales como: computadoras, equipo médico, equipo de telecomunicaciones y otro equipos electrónicos comerciales e industriales, corrigiendo automáticamente las variaciones de la línea de alimentación C.A al tiempo que limitan los picos de tensión utilizando para ello un sofisticado sistema de supresor de transitorios.

Los reguladores deben utilizarse donde las variaciones de tensión de la línea sea amplia o esté sujeta a ruido eléctrico. Al utilizar un regulador debe asegurarse que la línea de tierra venga directamente de la subestación eléctrica o del tablero principal de la edificación. A diferencia de los acondicionadores, los reguladores de tensión no poseen un transformador puro de aislamiento, su uso principal está en estabilizar las variaciones de la tensión de la red eléctrica.



Se pueden tener varias versiones de reguladores:

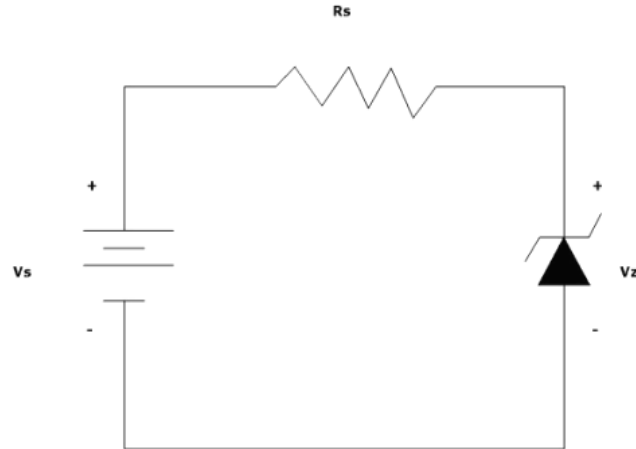
- Monofásicos
- Bifásicos
- Trifásicos

### **4.3 TIPOS DE CONFIGURACIONES EN LOS REGULADORES DE TENSIÓN**

Un regulador de tensión es aquel que puede proporcionar una tensión terminal completamente independiente de la carga aplicada. La regulación de tensión comprende varias configuraciones de circuitos que veremos a continuación.

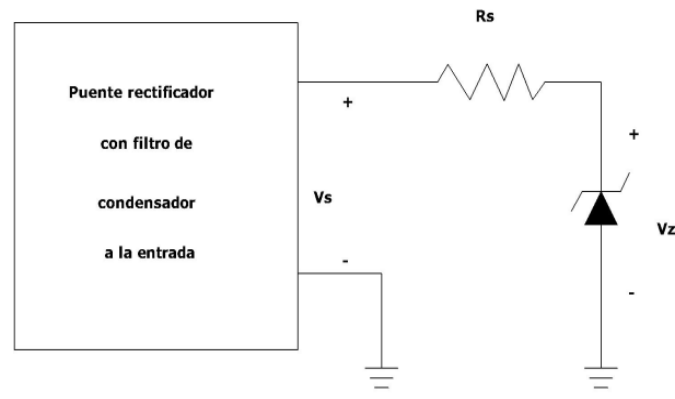
#### **4.3.1 Regulación de tensión con zener**

Un diodo zener recibe a veces el nombre de diodo regulador de tensión porque mantiene la tensión entre sus terminales constante, incluso cuando la corriente sufra cambios. En condiciones normales el diodo zener debe tener polarización inversa, como se ve en la figura 4.6. Además para trabajar en la zona zener, la tensión de la fuente  $V_s$  debe ser mayor que la tensión de ruptura  $V_z$ . Siempre se emplea una resistencia en serie  $R_s$  para limitar la corriente a un valor menor de su limitación máxima de corriente. En caso contrario el diodo zener se quemaría, como cualquier dispositivo que disipase excesiva potencia.



**Fig. 4.6** Regulación de tensión con zener

En la figura 4.7 se ve la salida de una fuente de alimentación conectada a una resistencia en serie con un diodo zener. Este circuito se utiliza cuando se desea una tensión continua de salida que sea menor que la salida de la fuente de alimentación. Un circuito como este recibe el nombre de regulador zener de tensión o simplemente regulador zener. En algunos textos se refieren a este circuito como estabilizador zener.



**Fig. 4.7** Fuente de alimentación conectada a una resistencia en serie con un diodo zener

### 4.3.2 Reguladores de tensión con transistores

Las características de un regulador de tensión pueden mejorarse ampliamente empleando dispositivos tales como el transistor. El regulador de tensión más simple del tipo de transistores en serie aparece la *figura 4.8*. En esta configuración el transistor se comporta como un simple resistor variable cuya resistencia se determina mediante las condiciones de operación. En resumen, para una carga creciente o decreciente, la resistencia variable debe cambiar en la misma forma y a la misma velocidad para mantener la misma división de tensión. Hay que recordar que la regulación de tensión se determina observando las variaciones en la tensión terminal frente a la demanda de corriente.

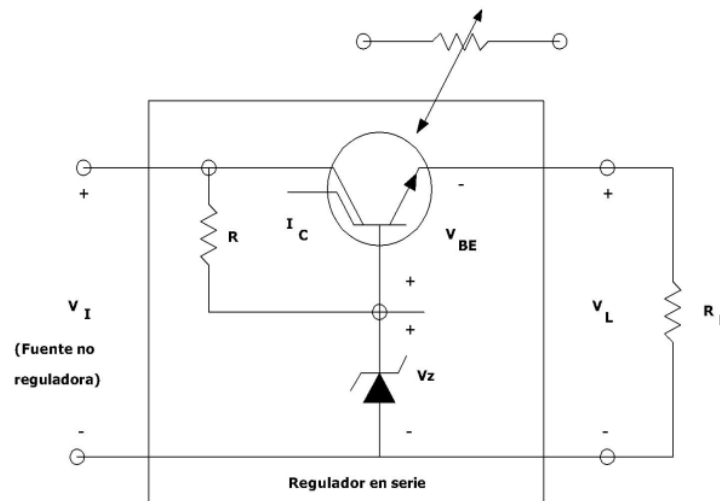


Figura 4.8 Regulador de tensión con transistores

### 4.3.3 Reguladores de tensión con circuitos integrados

Los reguladores de tensión abarcan una amplia clase de circuitos integrados (CI) de amplio uso. Estas unidades contienen los circuitos para la fuente de referencia, el amplificador de error, el dispositivo de control y la protección a sobrecarga, todos en un solo chip de CI. Aunque la construcción interna es un poco diferente a la que se describió para los circuitos reguladores de tensión discreto, la operación



externa es casi la misma. Una categoría básica de los reguladores de tensión incluye aquellos empleados solo con tensiones positivas, los que se usan únicamente con tensiones negativas y los que se clasifican también por tener tensiones de salidas fijas o ajustables. Estos reguladores pueden seleccionarse para operación con corrientes de carga con cientos de miliampers a decenas de ampers.

Los reguladores de tensión que proporcionan una tensión regulada fija positiva dentro de un intervalo de corriente de carga se representa esquemáticamente en la *figura 4.9*. El regulador de tensión fijo tiene una tensión no regulado  $V_{ent}$  aplicado a una terminal, entrega una tensión de salida regulado  $V_o$  desde una segunda terminal y la tercera terminal conectada a tierra. Para un CI particular las especificaciones del dispositivo señalan un intervalo de tensión dentro del cual la tensión de entrada puede variar para mantener la tensión de salida regulada  $V_o$  dentro de un intervalo de corriente de carga  $I_o$ . Debe mantenerse una tensión diferencial de salida-entrada para que el CI opere, lo que significa que la variación de tensión de entrada debe siempre mantenerse lo suficientemente grande para conservar una caída de tensión a través del CI que permita la operación adecuada del circuito interno. Las especificaciones del dispositivo también incluyen la cantidad del cambio de la tensión de salida  $V_o$  que resulta de los cambios en la corriente de carga y también en los cambios en la tensión de entrada.

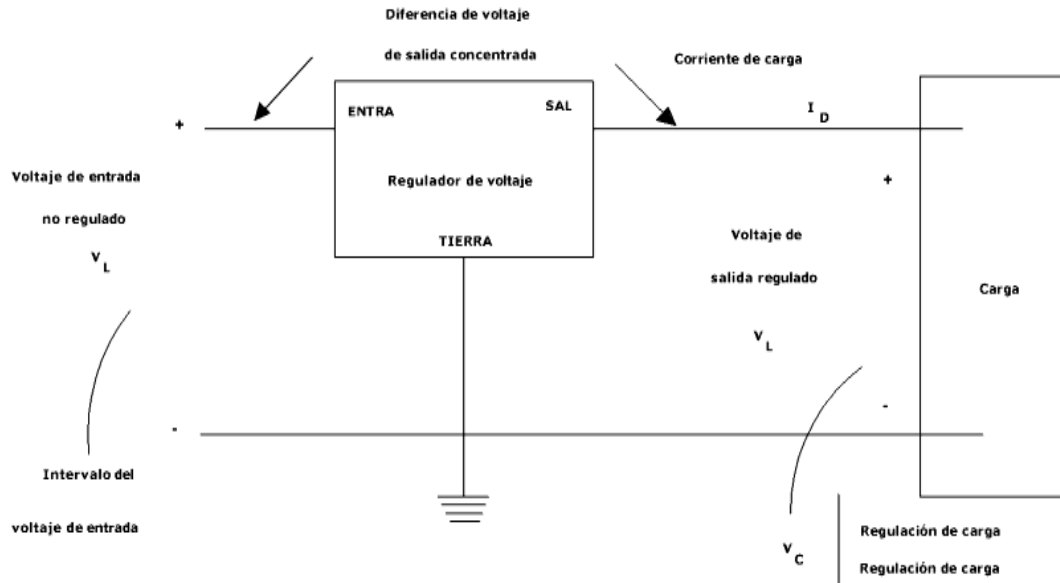


Figura 4.9 Reguladores de tensión con circuito integrado

#### 4.3.4 Reguladores conmutados

Los circuitos reguladores vistos hasta ahora: serie y paralelo; trabajan de la misma manera: El elemento de control (transistor) opera como una resistencia variable que es accionada por la señal de error que surge de comparar la tensión de salida con una referencia, de modo de mantener la salida estable. La tensión de salida es siempre menor que la de entrada y una potencia importante es disipada en el elemento de control. Los reguladores lineales, series y paralelos, sufren cuando deben suministrar grandes corriente de carga; obteniendo eficiencias muy bajas, típicamente del 40%. Existe otra manera de generar una tensión regulada, que es fundamentalmente distinta a la vista, mediante los reguladores conmutados (Switching Regulator o Switched-mode power supplies SMPS). En estos un transistor trabaja como una llave (al corte y saturación) que periódicamente aplica,



a la carga, toda la tensión no regulada a través de un inductor por cortos intervalos de tiempo. Los reguladores conmutados operan a frecuencias iguales o mayores a los 20KHz y básicamente utilizan la energía, en forma de campo magnético, almacenada en el inductor ( $1/2LI^2$ ) durante una porción del ciclo de operación para suministrar potencia a la carga durante el segmento remanente del ciclo. Los reguladores conmutados poseen propiedades que los hacen muy populares. Como el elemento de control está, ya sea al corte o a la saturación, muy poca potencia es disipada en el mismo, aún cuando la diferencia de tensión entre la entrada y la salida sea muy grande. Los reguladores conmutados operan a niveles de eficiencia mucho mayores que los lineales, generalmente en el orden del 80%, reduciendo la energía disipada en el proceso de regulación. Pueden generar tensiones a la salida "mayores" a la de la entrada no-regulada y además de polaridad opuesta. Finalmente pueden operar desde la tensión de línea directamente rectificadas y filtradas sin el transformador reductor; resultando en diseños muy livianos y compactos, como los utilizados en las populares fuentes de las PC's. Los reguladores conmutados poseen sus problemas: Son ruidosos, poseen una importante cantidad de *ripple* a la salida, son de respuesta más lenta ante variaciones rápidas de la carga que los lineales y los circuitos resultantes son complejos. En resumen, se puede decir que han ganado mucha popularidad en computadoras personales, aparatos de televisión, equipos portátiles y de escritorio; con un mercado en permanente expansión. Su uso redundante en fuentes más livianas, menor tamaño, alta eficiencia, alto rango de tensiones de entrada y menor costo en altas potencias. Aquí mostramos una configuración básica del regulador conmutado.



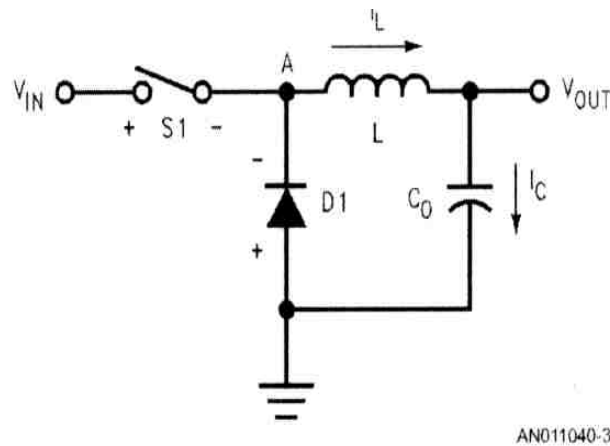


Figura 4.10 Reguladores conmutados.

#### 4.3.5 El autotransformador regulable

Un autotransformador se define como un transformador que tiene sólo un arrollamiento. Así un transformador con varios arrollamientos que tenga arrollamientos aislados puede considerarse un autotransformador si todos sus arrollamientos están conectados en serie aditiva para formar un arrollamiento único. El autotransformador también puede hacerse regulable de manera muy parecida a un potenciómetro ya que se convierte en un divisor de tensión regulable.

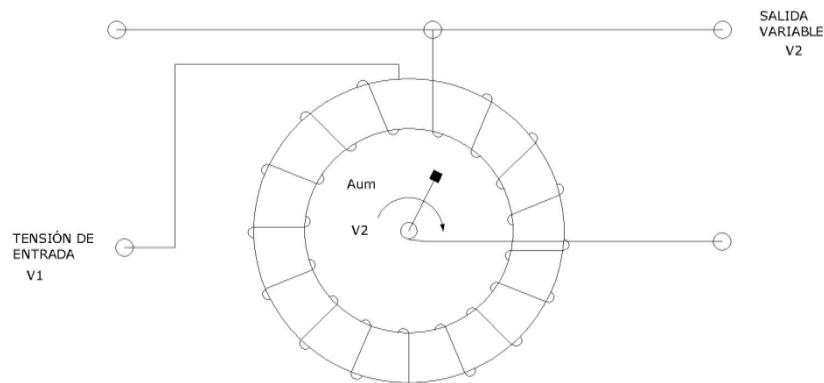
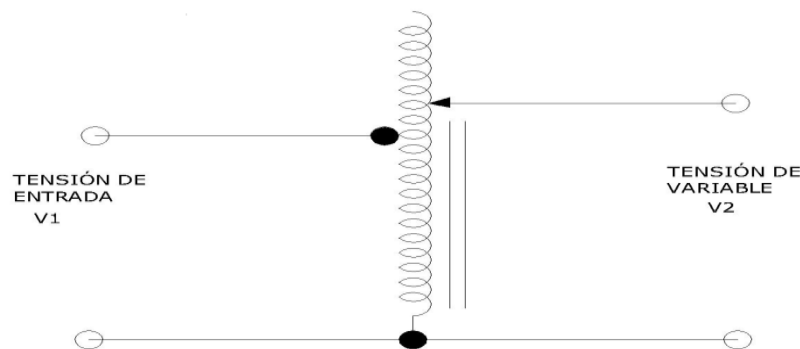


Figura 4.11 Autotransformador regulable

Los autotransformadores regulables constan de un único arrollamiento devanado sobre un núcleo de hierro toroidal como se muestra en la *figura 4.11*. Tales autotransformadores regulables denominados “powerstats o variacs” tienen un contacto deslizante de carbón sobre un eje giratorio que hace contacto con espiras expuestas del arrollamiento del transformador. Aunque la construcción de la *figura 4.12* permite usar ambos reductor y elevador. Hay que observar que en ambos casos sólo se emplea un único arrollamiento. Los autotransformadores regulables son extremadamente útiles en situaciones en las que se requiere de una amplia gama de ajuste de tensiones con poca pérdida de potencia.



**Figura 4.12** Autotransformador reductor y elevador

#### 4.4 TIPOS DE REGULADORES POR FUNCIONAMIENTO

Existen diversos tipos de reguladores en el mercado, los cuales se clasifican de acuerdo al principio o tecnología de regulación que utilizan. Los más importantes son los siguientes y en general contienen las mismas características.

Características de los reguladores:

- Relevador de protección de salida: Desconecta la carga automáticamente para protegerla cuando la alimentación comercial sube o baja a niveles peligrosos.



- Tablero de diagnóstico: Monitorea tanto tensiones de entrada como de salida, contando con tres memorias indicadoras de última falla. Indicadores lumínicos en el tablero frontal que indica el estado de operación en el cual se encuentra al regulador.
- Supresor de picos y ruidos eléctricos. No en todos los casos aplica.

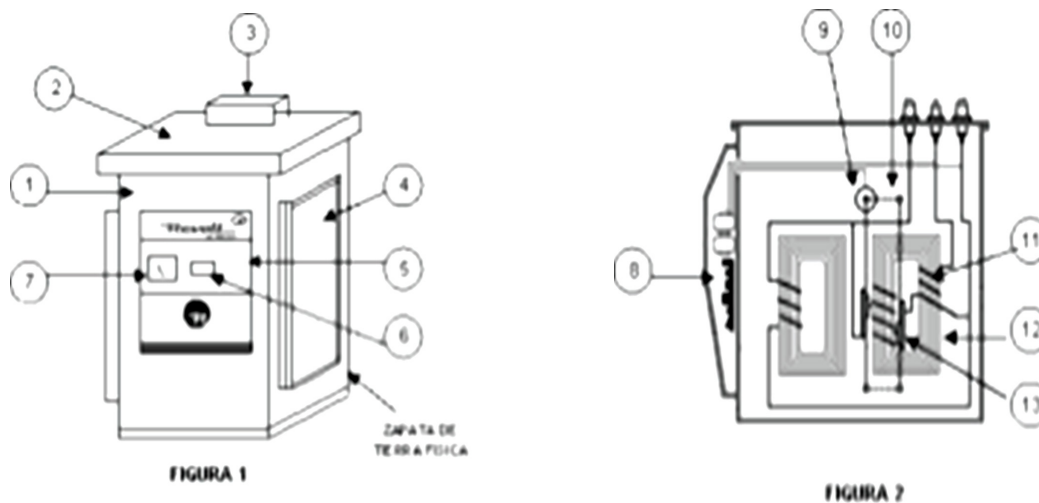
#### 4.4.1 Reguladores electromecánicos

Los reguladores electromecánicos basan su principio de funcionamiento en un auto transformador de columna, sobre la cual se dispone un cursor accionado por un servomotor, que en su recorrido suma o resta espiras. Este movimiento de auto ajuste es controlado por un comando electrónico, que se activa cada vez que la tensión de salida se desvía de su valor de calibración, ajustándose automáticamente y con ello mantiene permanentemente la tensión de salida estable. Las ventajas que ofrece este principio son que cuenta con una alta precisión (1,5%) y eficiencia del 99%, teniendo capacidad de sobrecarga de hasta 500% sin generación de contenido armónico; sin embargo, aunque no genera ruido armónico tampoco lo elimina, es decir si la línea eléctrica comercial viene con armónicos el regulador también sacara a su salida dichos armónicos, otro punto a considerar es que son enfriados por aceite lo cual los hace más pesados y con el riesgo latente de fugas. Su vida útil estimada es mayor a 25 años en funcionamiento continuo a plena carga por su diseño, tecnología y robustez; sin embargo, también está el riesgo latente de que la parte electrónica o servomotor se dañen con el tiempo lo cual se traduce en servicios de mantenimiento preventivo y/o correctivo.

Funciona a base de un autotransformador de espiras con bobinado de cobre. En dicha columna circula un dispositivo de calibración de carbón en vías de bronce, que es accionado por un servomotor que logra sumar o restar espiras, comandado por un sistema electrónico de última generación, que activa el servomotor cada

vez que la tensión de entrada varía de su programación original, ajustando así la tensión de salida al valor exacto para el cual fue diseñado.

Los reguladores de tensión han sido diseñados para funcionar en servicio continuo las 24 hrs. del día, todo el año. Por otro lado soportan ambientes con una temperatura máxima de 40°C y hasta 3200 m. sobre el nivel del mar. No son aptos para trabajar a la intemperie y pueden sufrir daños expuestos a fenómenos meteorológicos o debidos a situaciones anormales.

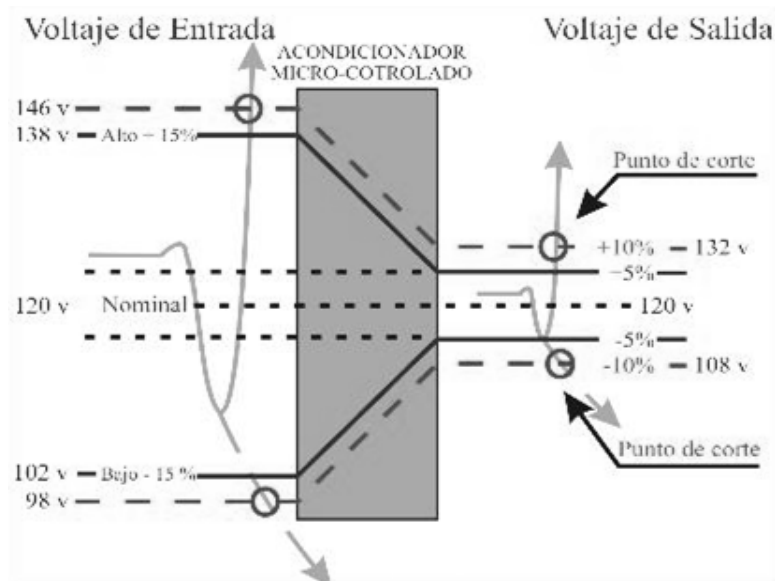


**Figura 4.13** 1.- Contenedor 2.- Tapa 3.- Tapa bornes 4.- Disipador de calor 5.- Tapa de circuito  
6.- Placa led's 7.- Voltímetro 8.- Circuito electrónico 9.- Motor 10.- Transmisión 11.- Bobina  
12.- Núcleo 13.- Carbones

#### 4.4.2 Reguladores electrónicos

Los reguladores electrónicos basan su regulación en un control electrónico, pueden llevar microprocesador para regular o simplemente un circuito de control que detecta las variaciones de la tensión y hace la corrección a través de relevadores para regular la tensión. Su tiempo de respuesta y velocidad de regulación son muy rápidos además de ser económicos en comparación a los otros tipos. Los rangos de tensión de entrada son reducidos y la precisión de la tensión de salida es de +/- 3% a +/- 5%. Su diseño propicia que se desconecten

para autoprotgerse en condiciones extremas de alta y/o baja tensión, son muy eficientes ya que mientras la línea comercial se encuentre normal dejan pasar el tensión hacia la carga, sólo se activa la regulación al momento de presentarse alguna anomalía, en la mayoría de los casos sólo ofrecen regulación en la fase y no en la línea de neutro, se autoprotegen utilizando varistores a la salida para provocar un corto circuito y activar su fusible.



**Figura 4.14** Esquema básico de un regulador electrónico

El regulador electrónico de tensión se diseñó pensando en las características de alimentación de los equipos modernos (equipo de cómputo, centrales telefónicas, copadoras, equipo de audio y video). Requieren de una baja impedancia en la alimentación con el objeto de no generar ruido o distorsión a la salida durante las transiciones de conmutación de la fuente.

El regulador electrónico de tensión consta esencialmente de los siguientes elementos por cada fase.

- Un sensor electrónico de tensión que detecte las variaciones de la línea y automáticamente las corrija conmutando los taps de un autotransformador.



- Un autotransformador con taps o derivaciones que son conmutados por medio de un sensor electrónico para compensar las variaciones de tensión de entrada y de esta forma proporcionar tensión regulado a la salida.
- Un panel indicador del estado del sistema, que incluye un led indicador de tensión de entrada, un led indicador con alarma sonora de tensión fuera de rango y además un led indicador de mantenimiento.
- El regulador cuenta con un supresor de picos a la salida.

#### 4.4.3 Reguladores ferrosonantes

La ferros resonancia es la propiedad del diseño de un transformador en el cual el transformador contiene dos patrones magnéticos separados con acoplamiento limitado entre ellos. La salida contiene un circuito resonante paralelo que toma su potencia del primario para reemplazar la potencia entregada a la carga. Hay que notar que la resonancia en la ferros resonancia es similar a aquella en los circuitos lineales con capacitores o inductores en serie o paralelo, en donde la impedancia tiene un pico a una frecuencia en particular. En un circuito no lineal, como el que se usa en los transformadores ferros resonantes, la resonancia se usa para reducir los cambios en la tensión de alimentación para suministrar una tensión más consistente en la carga.

Un dispositivo magnético es no lineal, su reluctancia cambia abruptamente arriba de una determinada densidad de flujo magnético, en este punto el dispositivo magnético se define que está en saturación, el diseño de esta tecnología permite que un patrón magnético (el patrón resonante) este en saturación, mientras que el otro no lo está. Como resultado un cambio de tensión en el primario no se traducirá en cambios de tensión en el secundario y resulta en una regulación de tensión.

Las ventajas son claras, regulación de entrada extrema, incluso puede operar a tensiones tan bajas como 55 VCA y proporcionar 120 VCA a la salida con



regulación de  $\pm 1\%$  siempre que la carga no rebase el 60% de la capacidad nominal del regulador, trabajando a plena carga admite variaciones de entrada de hasta 85 VCA.

Eliminación de ruido eléctrico, gracias a un devanado de neutralización de armónicos que ninguna otra tecnología incorpora proporcionando una salida prácticamente libre de estos. (Máxima distorsión armónica total de tres por ciento).

Libre de mantenimiento y vida media de 30 años, esto debido a su gran robustez mecánica ya que no contiene elementos móviles en su interior como servomotores, motores, relevadores, circuitos de control etc. Es de estado sólido y es enfriado por aire, no incorpora fusible de protección ya que el equipo es autoprotegido en caso de un corto circuito el equipo se inhibe y vuelve a operar normalmente en forma automática.

Empleado un transformador de alta impedancia mediante el uso de una derivación magnética al cual se le conecta un capacitor en paralelo con la salida provocando la saturación del compartimiento secundario y debido a la ferro – resonancia de la bobina secundaria con el capacitor, se logra mantener prácticamente constante el flujo magnético ya si las variaciones de la tensión de salida son de menor proporción en comparación con las de entrada.

Es de muy alta precisión con amplio rango de entrada e incorpora en su diseño un transformador de ultra aislamiento con pantalla electrostática y protección galvánica. Corrige la forma de onda de entrada ofreciendo máxima protección a cualquier equipo electrónico. Algunas de sus características son:

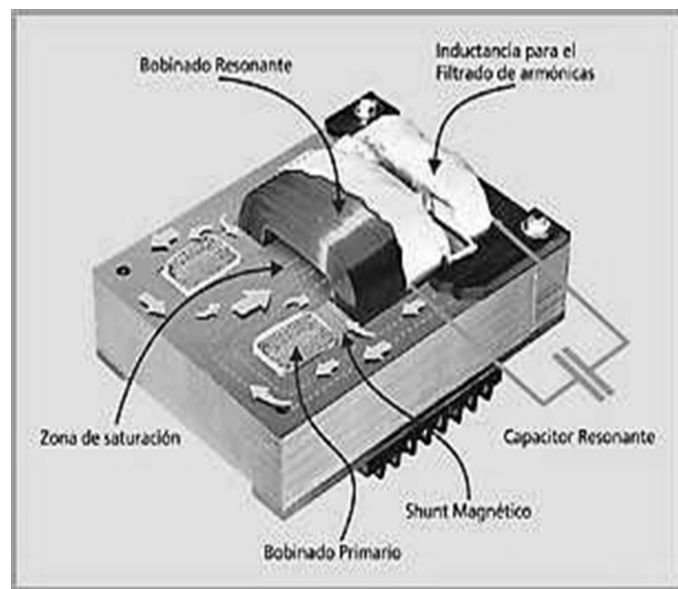
**Amplio rango de regulación.** Por su tecnología dan un amplio margen de regulación que va de 90 a 300 V. AC a la entrada; manteniendo un tensión de salida con mayor precisión de  $220 \pm 1\%$

**Repentización a la entrada.** En el embobinado del primario del transformador se encuentra aislado del secundario, permitiendo adecuar las fases de salida de cada línea a 0 V AC y 220 V AC respectivamente y obtener una tierra virtual.

**Micro – cortes.** El sobre dimensionamiento de los circuitos oscilantes, permiten almacenar energía alterna que compensa el micro-corte del suministro eléctrico de cinco milisegundos.

**Filtrado de armónicos.** El índice de armónicos queda reducido por la red de filtrado compuesto por el banco de condensadores aplicada a la bobina. De una onda ruidosa de entrada extrae el primer armónico, una onda pura, sin ruido y sinusoidal.

**Protección con sobrecarga.** Debido a la naturaleza ferro-resonante del regulador, la corriente de salida se autolimita protegiendo a la unidad de daños internos y haciendo innecesarias protecciones adicionales, tales como, fusibles e interruptores termo – magnéticos. En caso de cortocircuitos, la corriente de salida se limita al 125 – 200% de su valor nominal.



**Figura 4.15** Reguladores ferroresonantes





## **4.5 IMPORTANCIA Y NECESIDAD DE MANTENIMIENTO A REGULADORES DE TENSIÓN**

Los transformadores y reguladores de tensión son elementos muy importantes en un sistema de suministro de energía eléctrica. Con los transformadores de potencia se hace posible el enlace de los diferentes niveles de tensión para transportar la energía desde las plantas de generación hasta los consumidores. Una operación inadecuada o el retiro obligado del servicio de un banco de transformación, puede causar serios trastornos a la operación estable del sistema o a la continuidad del servicio. Con los reguladores de tensión se hace posible entregar la energía a los usuarios con la calidad de tensión aceptable; es decir, sin variaciones notables y dentro de los límites establecidos. La seguridad de una buena operación de los transformadores y reguladores de potencia dependen básicamente de un programa de mantenimiento efectivo que permita controlar el estado de cada una de sus partes.

## **4.6 NECESIDAD DE REGULAR LA TENSIÓN**

Cualquier dispositivo eléctrico es diseñado para funcionar con una determinada tensión aplicada llamada nominal, pero pueden soportar una variación con respecto a esta tensión dentro de los límites definidos sin que sus características de funcionamiento varíen apreciablemente ni se pongan en peligro la seguridad del mismo. Por otra parte los sistemas de distribución deben estar diseñados y operados de manera que el valor de la tensión suministrada este dentro de límites aceptables y permisibles. Ya que como lo dice el “Reglamento de la ley del servicio público de energía eléctrica” en el artículo 18. El suministrador deberá 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:



- Que la frecuencia sea de 60 Hz, con una tolerancia de 0.8 por ciento en más o menos
- Que las tolerancias en la tensión de alta, media o baja tensión no excedan de diez por ciento en más o en menos y tiendan a reducirse progresivamente

#### **4.7 RAZONES PARA USAR UN REGULADOR DE TENSIÓN**

Todo aquel equipo electrónico que es parte fundamental de un proceso de investigación, de control de calidad, de producción, de seguridad etc. es considerado por el usuario final como una inversión económicamente importante, no solo por el valor mismo del equipo sino por las pérdidas económicas que presentan el hecho de tenerlo fuera de operación por una causa de una falla en el suministro eléctrico. Recordemos que un daño físico en un equipo implica generalmente un costo de reparación superior al precio de un regulador de tensión.

Algunos de los equipos cuya protección es indispensable por el tipo de servicio que prestan al usuario son los siguientes.

- Equipo de telefonía
- Equipo de audio y video
- Equipo fotográfico
- Equipo de cómputo
- Equipo médico de precisión
- Controladores lógicos