

# **TENSIONES NOMINALES Y VARIACIONES DE TENSIÓN**

ÍNDICE	PÁG.
1 - OBJETIVO .....	3
2 - TENSIONES NOMINALES .....	3
3 - VARIACIONES DE TENSIÓN.....	5
3.1 - Fuente de Alimentación .....	9
3.2 - Transformador de Potencia.....	9
3.3 - Tensión Nominal del Sistema.....	9
3.4 - Tensión Nominal de los Motores .....	9
3.5 - Relevadores y Contactores .....	10
3.6 - Arranque de Motores .....	10
3.7 - Ajustes de Tensión del Sistema y Equipos.....	10
3.8 - Baja Tensión en Sistemas .....	11
4 - SITUACIONES MÁS FRECUENTES.....	14
4.1 - Instalación Existente.....	14
4.2 - Nuevo Proyecto .....	14
5 - CONCLUSIÓN .....	14

## 1 - OBJETIVO

En Brasil, definir las tensiones nominales del sistema y el equipo es un problema que siempre surge cuando se inicia un proyecto. Esto se debe a que no existen normas o estandarización en Brasil que definan estas tensiones. Por lo tanto, el propósito de este informativo es abordar este tema para que el usuario tenga más información para tomar sus decisiones y argumentos para presentar al cliente.

Otro tema que será objeto de este informativo son los problemas de variaciones de tensión en las cargas, debidos a las variaciones de tensión en las alimentaciones y caídas de tensión en los circuitos implicados. En este análisis, se considerarán las normas aplicables y los límites admisibles en las cargas.

## 2 - TENSIONES NOMINALES

Como el enfoque de este sitio está más volcado a los sistemas de baja tensión de hidroeléctricas, los niveles de tensión de estas instalaciones serán más abordados, pero también pueden ser válidos para otras áreas, especialmente las industriales.

No es posible definir, a priori, qué tensiones nominales y medidas deben adoptarse para satisfacer las necesidades de una instalación, porque esta definición depende de los requisitos del cliente, de los equipos, componentes utilizados y de los recursos disponibles. Por lo tanto, esta definición debe hacerse teniendo en cuenta todas las variables.

En Brasil no existen tensiones nominales estandarizadas para sistemas de baja tensión, ni para sistemas ni para equipos. Lo que existe sobre el tema son las definiciones dadas por el Decreto N.º 41.019 de 26 de febrero de 1957 y modificado por los Decretos N.º 73.080 de 5 de noviembre de 1973 y N.º 97.280 de 16 de diciembre de 1988.

En el Decreto N.º 41.019 de 26 de febrero de 1957, el artículo 47 definió que:

*“Art 47. Deverão ser adotadas preferencialmente, nas novas instalações de serviço de energia elétrica, as seguintes tensões nominais:*

.....

*III - Na distribuição secundária:*

*Trifásica a 220, 380 e 440 volts, monofásica a 110, 127 e 220 volts.*

*IV - Na utilização de energia para tração elétrica urbana:*

*600 volts, corrente contínua.*

....

*Parágrafo único. As tensões nominais na distribuição secundária referem-se aos pontos de entrega da energia; nos demais casos referem-se à extremidade de alimentação da linha.”*

En el Decreto N.º 73.080 del 5 de noviembre de 1973 se modificó el artículo 47 para:

*“Art 47. Deverão ser adotadas pelas concessionárias de serviço de energia elétrica, em novas instalações, as seguintes tensões nominais:*

....

*III - Para distribuição secundária de corrente alternada em redes públicas: 380-220 e 220-127 volts em redes trifásicas a quatro fios, e 230/115 volts em redes monofásicas a três fios.*

*§ 1º A tensão nominal de um sistema é o valor eficaz da tensão pelo qual o sistema é designado.*

*§ 2º Tensões nominais diferentes das indicadas neste artigo, somente poderão ser utilizadas em reforço ou extensão de redes já existentes utilizando tais tensões, desde que técnica e economicamente justificado. “*

Con el Decreto N.º 97.280 del 16 de diciembre de 1988, la redacción actualizada del artículo 47 para la baja tensión es:

*“Art 47. Deverão ser adotadas pelas concessionárias de serviço de energia elétrica, em novas instalações, as seguintes tensões nominais:*

....

*III - Para distribuição secundária de corrente alternada em redes públicas: 380/220 e 220/127 volts, em redes trifásicas; 440/220 e 254/127 volts, em redes monofásicas;*

*§ 1º A tensão nominal de um sistema é o valor eficaz da tensão pelo qual o sistema é designado.*

*§ 2º Tensões nominais de transmissão e subtransmissão ou distribuição primária diferentes das indicadas neste artigo, somente poderão ser utilizadas em reforço ou extensão de linhas ou redes já existentes, desde que técnica e economicamente justificável*

....”

Según ANEEL (Agencia Nacional de Energía Eléctrica), para saber cuál es la tensión nominal del sistema de distribución secundaria, debemos saber cuál es la ciudad y el concesionario local. Por lo tanto, hay una variedad de tensiones nominales y todas son legalmente válidas. Entre estas tensiones podemos mencionar 440/220V, 380/220V, 254/127V, 230/115V, 220/127V. Por ejemplo, según el sitio de ANEEL, Tensões Nominais Secundárias por Município, en la ciudad de Alcobaça - Bahía, COELBA distribuye energía a las tensiones de 440/220V, 380/220V y 254/127V.

BA - Bahia	Alcobaça
COELBA	
Tensão Nominal 1	440/220 volts
Tensão Nominal 2	380/220 volts
Tensão Nominal 3	254/127 volts

No existe en Brasil, como existe en otros países de Europa y en Estados Unidos, estandarización de tensiones nominales de sistemas y equipos. Por ejemplo, en la mayoría de los países europeos que utilizan la IEC (International Electrotechnical Commission), la tensión nominal del sistema es 400V y la tensión nominal de los motores es 380V; en Inglaterra, que utiliza la norma BS (British Standards), la tensión nominal del sistema trifásico es 415V y la tensión nominal de los motores es 400V; en Estados Unidos, que utiliza la norma NEMA (National Electrical Manufacturers Association), la tensión nominal del sistema es 480V y la tensión nominal de los motores es 460V.

Las normas ABNT se basan principalmente en las recomendaciones de la IEC, pero las tensiones nominales de los sistemas y equipos no son definidas, lo que nos lleva a adoptar, en la mayoría de los casos, tensiones nominales de 380V, 440V, 460V y 480V para sistemas y 380V y 440V para motores. Lo que se podría hacer, dado que los fabricantes de equipos y materiales también atienden a otros mercados, y muchos de estos fabricantes provienen de otros países, es adoptar las tensiones definidas en normas internacionales como IEC o NEMA. En Brasil, las normas ABNT se basan en la IEC, pero no adoptamos las tensiones nominales definidas en ella.

Recordamos que tanto en Estados Unidos como en Europa se han producido actualizaciones de las tensiones nominales de los sistemas y motores. En los Estados Unidos, en la década de 1960, la tensión nominal del sistema era de 480V y para motores 440V. La tensión nominal del sistema se mantuvo en 480V y la tensión nominal de los motores se cambió a 460V. En Europa, en la década de 1980, la tensión nominal del sistema y los motores era de 380V. La tensión nominal del sistema se cambió a 400V y la tensión nominal de los motores se mantuvo en 380V. También vale la pena mencionar que la frecuencia en los Estados Unidos es de 60Hz y en Europa de 50Hz.

Las tensiones nominales de los equipos, como transformadores de control, relevadores, contactores, etc., se fabrican de acuerdo con las normas internacionales. Por lo tanto, como la tensión secundaria nominal de los transformadores de control es 115V y las relaciones que cumplen las normas son, por ejemplo, 3,5 y 4, las relaciones nominales de los transformadores de control deben ser 402,5-115V y 460-115V. Basándonos en las normas, podemos concluir que transformadores de 380-115V, 440-115V y 480-115V serían especiales, es decir, para transformadores 380-115V la relación sería 3,30; para transformadores de 440-115V la relación sería de 3,82; para transformadores de 480-115V la relación sería de 4,17.

Debido a lo mencionado, y a falta de definición de las normas brasileñas, la recomendación debería ser adoptar las siguientes tensiones:

#### Referencia Europa

Para motores con tensión nominal: 380V;

Tensión nominal del sistema: 400V

Transformador de control: 402,5-115V (relación 3,5)

Tensión nominal de relevadores, contactores, etc.: 110V

#### Referencia de Estados Unidos

Para motores con tensión nominal: 460V

Tensión nominal del sistema: 480V

Transformador de control: 480-120V (Relación 4)

Tensión nominal de relevadores, contactores, etc.: 115V

#### Para satisfacer cualquier sistema existente

Para motores con tensión nominal: 440V

Tensión nominal del sistema: 460V

Transformador de control: 460-115V (Relación 4)

Tensión nominal de relevadores, contactores, etc.: 110V

Nota: La preferencia debe ser por la tensión de 480V para sistemas y 460V para motores, como en Estados Unidos, donde la frecuencia es de 60Hz, igual a la de Brasil. La industria nacional, para atender también a otros mercados, fabrica los motores para tensiones nominales de 380, 440, 460V y equipos (relevadores, contactores, etc.) para 110 y 115V, con frecuencias de 50 y 60Hz, porque la frecuencia en otros países, como América Latina y Europa, es de 50Hz. De esta manera, sirve tanto a sistemas y equipos nacionales como importados.

### **3 - VARIACIONES DE TENSIÓN**

En este ítem se analizarán las variaciones de tensión, que se producen en las alimentaciones de las instalaciones y equipos, y los límites admisibles recomendados por los fabricantes de componentes y equipos, normas y necesidades de las instalaciones.

Las normas recomiendan límites para las caídas de tensión en los circuitos de alimentación. Sin embargo, estos límites son valores máximos recomendados, que deben analizarse con las otras variables de los sistemas e instalaciones.

De acuerdo con el Rango de Clasificación de Tensiones – Tensiones de Régimen Permanente de ANEEL (Tabla 3 a continuación) la tensión adecuada en los puntos de alimentación de los sistemas de media tensión puede variar del 93 al 105% de la tensión de referencia. Los valores límite de tensión en los puntos de conexión pueden variar entre el 90 y el 105% de la tensión de referencia.

**Tabela 3 – Pontos de conexão em Tensão Nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV**

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

IEC 61000-3 recomienda la definición de la tensión de referencia como la tensión nominal del sistema.

De acuerdo con el Rango de Clasificación de Tensiones – Tensiones de Régimen Permanente de ANEEL (Tabla 12 a continuación) la tensión adecuada en los puntos de alimentación de sistemas de baja tensión puede variar del 92 al 105% de la tensión nominal. Los límites de tensión en los puntos de conexión pueden variar entre el 87 al 106% de la tensión nominal.

**Tabela 12 – Faixas aplicadas às tensões nominais inferiores a 1 kV para formação das Tabelas 4 a 11**

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão Nominal (TN)
Adequada	$0,92TN \leq TL \leq 1,05TN$
Precária	$0,87TN \leq TL < 0,92TN$ ou $1,05TN < TL \leq 1,06TN$
Crítica	$TL < 0,87TN$ ou $TL > 1,06TN$

Si consideramos los rangos de tensión de funcionamiento adecuados, en la alimentación de una instalación, y aplicamos las caídas de tensión admisibles en las normas a los distintos circuitos, probablemente pocos equipos podrían trabajar con las variaciones recomendadas por los fabricantes e incluso por las propias normas.

De la norma NBR 5410 tenemos:

### 6.2.7 Quedas de tensão

*6.2.7.1 Em qualquer ponto de utilização da instalação, a queda de tensão verificada não deve ser superior aos seguintes valores, dados em relação ao valor da tensão nominal da instalação:*

*a) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s);*

*b) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;*

*c) 5%, calculados a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição;*

*d) 7%, calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio.*

Considerando el caso de hidroeléctricas, la caída máxima de tensión, desde los terminales secundarios del transformador MT/BT hasta la carga, debería ser 7% de la tensión nominal del sistema. Sucede que, en las plantas hidroeléctricas, los transformadores MT/BT son, mayormente, alimentados directamente por el generador, y este generador también tiene un rango de operación, generalmente de  $\pm 10\%$  y, a pesar de operar en un rango más pequeño, por ejemplo, + 10%, -5%, todavía tenemos la caída de tensión en el transformador MT/BT y los componentes del circuito, como tableros y cables.

Si el generador está con 95% de la tensión nominal, la tensión nominal del sistema de baja tensión es de 480 V y la tensión nominal de los motores es de 460 V, aunque no haya caída de tensión en el transformador MT/BT, si la caída de tensión en la carga cumple con la caída del 7% de la tensión nominal, la tensión de funcionamiento de los motores será:

$$V_T = 480 \times 0,95 = 456V$$

$$V_M = 456 - 480 \times 0,07 = 422,4V$$

Dónde:

$V_T$  - Tensión en los terminales del transformador MT/BT

$V_M$  - Tensión en los motores

La tensión en los motores será de 422,4V, que corresponde al 91,8% de su tensión nominal.

Si consideramos la misma condición anterior, pero con la tensión de generación con 110% de la tensión nominal, la tensión de funcionamiento de los motores será:

$$V_T = 480 \times 1,10 = 528V$$

$$V_M = 528 - 480 \times 0,07 = 494,4V$$

Dónde:

$V_T$  - Tensión en los terminales del transformador MT/BT

$V_M$  - Tensión en los motores

La tensión en los motores será 494,4V, que corresponde al 107,5% de su tensión nominal.

Si queremos que la tensión de funcionamiento de los motores sea, al menos, 95% de su tensión nominal, es decir, 437V, que corresponde al 91% de la tensión nominal del sistema, la caída de tensión debe ser:

Para tensión de generación con 95% de tensión nominal.

$$V_T = 480 \times 0,95 = 456V$$

$$V_M = 456 - 480 \times d_V = 437V$$

$$d_V = \frac{456 - 437}{480} = 0,04$$

O sea, la caída de tensión debe ser 4% de la tensión nominal del sistema, en lugar del 7%.

Esto implicará que, cuando el generador esté operando a una tensión del 110% de la tensión nominal, la tensión de funcionamiento de los motores será:

$$V_T = 480 \times 1,10 = 528V$$

$$V_M = 528 - 480 \times 0,04 = 508,8V$$

que corresponde al 110,6% de la tensión nominal de los motores.

Suponiendo una instalación, con tensión nominal del sistema de 480V y motores con tensión nominal de 460V, formada únicamente por un tablero general que alimenta todas las cargas, y este tablero general es alimentado por una fuente externa con tensión nominal 480V, si la tensión de la fuente de alimentación es 441,6V, es decir, el 92% de la tensión nominal, aún dentro del rango de tensión apropiado, y se considere una caída total de tensión del 5% desde el punto de entrega, según lo dispuesto en NBR 5410, la tensión de funcionamiento de los motores será:

$$V_M = 441,6 - 480 \times 0,05 = 417,6V$$

es decir, el 87% de la tensión nominal del sistema, que corresponde al 90,8% de la tensión nominal de los motores.

Si consideramos la misma condición anterior, pero con la alimentación en 504V, es decir, el 105% de la tensión nominal, también dentro del límite de tensión adecuado, la tensión de funcionamiento de los motores será:

$$V_M = 504 - 480 \times 0,05 = 480V$$

corresponde al 104,3% de la tensión nominal de los motores.

Si queremos que la tensión de funcionamiento de los motores sea al menos del 95% de su tensión nominal, es decir, 437V, que corresponde al 91% de la tensión nominal del sistema, la caída de tensión debe ser:

Para tensión en la alimentación con 441,6V (92% de la tensión nominal del sistema).

$$V_M = 441,6 - 480 \times d_V = 437V$$

$$d_V = \frac{441,6 - 437}{480} = 0,01$$

Es decir, la caída de tensión hasta los motores debe ser del 1% en lugar del 5%.

Para tensión en la fuente de alimentación con 456V (95% de la tensión nominal del sistema).

$$V_M = 456 - 480 \times d_V = 437V$$

$$d_V = \frac{456 - 437}{480} = 0,04$$

Es decir, la caída de tensión hasta los motores debe ser del 4% en lugar del 5%.

Para tensión en la fuente de alimentación con 504V (105% de la tensión nominal del sistema), la tensión en los motores será de 480V, considerando la caída de tensión del 5%, que corresponde al 104,3% de la tensión nominal de los motores.

La NBR 5410 también recomienda que el dimensionamiento de los conductores que alimentan los motores sea tal que, durante el arranque del motor, la caída de tensión en los terminales del dispositivo de arranque no exceda el 10% de la tensión nominal respectiva, en línea con los límites para los demás puntos de uso de la instalación.

El hecho de utilizar una tensión nominal del sistema, mayor que la tensión nominal de los motores, trae la ventaja de poder admitir una caída de tensión mayor a la que se admitiría, si las tensiones nominales de los motores fueran iguales a las tensiones nominales de los sistemas. Sin embargo, puede ocurrir que la tensión de la fuente esté en el límite superior del rango apropiado y la caída de tensión en los circuitos sea pequeña, lo que puede implicar que los componentes funcionen con una tensión superior a la recomendada o admisible.

Para dimensionar correctamente los componentes de una instalación, es importante conocer el rango de funcionamiento de la tensión de alimentación y los límites de tensión de funcionamiento admisibles de los equipos implicados (transformadores, motores, contactores, relevadores, etc.). A partir de estos datos será posible definir cómo satisfacer mejor todas las necesidades de la instalación y sus componentes. Sin embargo, por mucho que intentemos cumplir con estos límites, será necesario analizar algunas condiciones críticas que seguramente surgirán.

En las centrales hidroeléctricas, si tuviéramos que cumplir con todos los límites teóricos de tensiones de fuentes de alimentación y cargas, todos los transformadores de servicio auxiliares MT/BT tendrían que estar equipados con conmutadores automáticos de tensión. Resumiendo, lo que hay que hacer es buscar el mejor equilibrio posible con los datos disponibles, y minimizar los casos más críticos. Lo más importante es evitar sobretensiones y gestionar los problemas de las bajas tensiones.

En los ejemplos considerados, se arbitró que el valor de la tensión de la generación estaría entre +10% y -5%. Sin embargo, este valor debe establecerse para cada instalación y depende de la tensión del sistema de alta tensión, las características del transformador elevador y la derivación utilizada para el devanado de alta tensión del transformador del elevador. En ausencia de estas informaciones, para la finalidad del sistema de baja tensión,

considere que la unidad generadora funciona con carga y factor de potencia nominales. Para las condiciones del sistema de alta tensión asociado, considerar los valores establecidos por ANEEL en las siguientes tablas:

**Tabela 1 – Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou superior a 230 kV**

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,95TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,93TR \leq TL < 0,95TR$ ou $1,05TR < TL \leq 1,07TR$
Crítica	$TL < 0,93TR$ ou $TL > 1,07TR$

**Tabela 2 – Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV**

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,95TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,95TR$ ou $1,05TR < TL \leq 1,07TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,07TR$

A continuación, se presentan algunas consideraciones sobre los problemas que suelen surgir y una forma de resolverlos o atenuarlos.

### 3.1 - Fuente de Alimentación

La variación de tensión debe ser la menor posible, pero esta característica, muchas veces, no puede ser definida por el usuario. Sin embargo, el rango de variación de la tensión de la fuente de alimentación debe estar muy bien definido y evaluado. También es importante conocer, dentro de límites extremos, cuál es el rango de operación más probable. Esta información es importante para definir el rango de variación de tensión en las cargas y la derivación del devanado primario que se utilizará en el transformador MT/BT. A un alto costo, la alternativa de usar transformador con conmutador automático de tensión es la última opción que considerar.

### 3.2 - Transformador de Potencia

La potencia nominal y la impedancia del transformador MT/BT se definirán dentro de las características nominales del mercado. En ambientes abiertos use transformadores en aceite y en interiores use solo transformadores secos.

### 3.3 - Tensión Nominal del Sistema

La tensión nominal del sistema debe ser una de las tensiones recomendadas. Para motores con tensión nominal de 380V adopte tensión nominal de 400V para el sistema; para motores con tensión nominal de 460V adopte tensión nominal de 480V para el sistema.

### 3.4 - Tensión Nominal de los Motores

La tensión nominal de los motores debe ser de 380V o 460V.

La clase de aislamiento debe ser de clase F con elevación de temperatura de clase B, es decir, los motores deben ser proyectados y fabricados para funcionar con límites de temperatura de aislamiento de clase B (130 ° C), pero aislados con materiales de clase F (155 ° C). Esta práctica permite que el calentamiento, causado por condiciones críticas de funcionamiento, no comprometa la vida útil del motor. Por ejemplo, motores que funcionan con tensión inferior a la recomendada funcionan con una corriente superior a la normal, proporcional a la reducción de tensión, lo que provoca el aumento de temperatura por encima de lo permitido para la Clase B, pero dentro del límite de la Clase F.

### 3.5 - Relevadores y Contactores

Relevadores y contactores deben tener la tensión nominal compatible con la tensión del sistema. Para sistemas con tensión nominal 115V, utilice relevadores y contactores con tensión nominal de 110V; para sistemas con tensión nominal 120V, utilice relevadores y contactores con tensión nominal de 115V. Las tensiones de funcionamiento del control deben observarse para que los contactores no abran por baja tensión o las bobinas se quemem por sobretensión.

Se debe evitar que los controles de contactores funcionen a tensiones superiores al 110% y por debajo del 85% de la tensión nominal. Sin embargo, hay contactores en el mercado que operan (permanecen cerrados) con tensiones hasta menos del 70% de la tensión nominal, pero esta condición debe ser confirmada antes de ser considerada.

Si la tensión mínima de control de corriente alternada es inferior a la tensión mínima de funcionamiento de los contactores o dispositivos de control, deben utilizarse contactores accionados por corriente continua.

### 3.6 - Arranque de Motores

El arranque de los motores de inducción será, siempre que sea posible, directo a plena tensión. Con el desarrollo de la industria de Soft Starters y otros dispositivos de accionamiento, su uso y beneficios están haciendo que su aplicación sea ventajosa, especialmente en equipos de movimiento y elevación de cargas como grúas, pórticos, limpia rejillas, etc., donde su uso ya está consagrado.

### 3.7 - Ajustes de Tensión del Sistema y Equipos

El primer cuidado que se debe tener en la definición de los sistemas, con respecto a las tensiones, es evitar que los equipos de control y sus auxiliares estén sujetos a sobretensiones superiores a las admisibles definidas por los fabricantes. Esta sobretensión ocurre, más precisamente, cuando la tensión de alimentación del sistema está en el límite máximo y el sistema tiene poca carga. Por lo tanto, esta condición debe definir la elección de la derivación que se utilizará en el primario del transformador MT/BT, si corresponde.

La derivación que utilizar se puede definir con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$k = \frac{V_P V_{S_n}}{V_S V_{P_n}}$$

Dónde:

$V_S$ - Tensión en el transformador secundario (V)

$V_P$ - Tensión en el transformador primario (V)

$V_{P_n}$  - Tensión nominal del transformador primario (V)

$V_{S_n}$  - Tensión nominal del transformador secundario (V)

$k$  - relación entre la tensión de la derivación utilizada ( $V_{P_x}$ ) y la tensión nominal del primario del transformador.

Dado que los transformadores normalmente se suministran derivaciones de  $\pm 2 \times 2,5\%$  de la tensión nominal, es decir,  $k=0,95-0,975-1,0-1,025-1,05$ , la derivación a elegir debe ser la más cercana al valor calculado para  $k$ .

Por ejemplo, un transformador con relación nominal de  $13800 \pm 2 \times 2.5\% - 480V$  puede ser alimentado por una fuente con los límites definidos en la tabla a continuación (ANEEL).

Tabela 3 – Pontos de conexão em Tensão Nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

Considerando que una alimentación está en el límite máximo, es decir, 14490V (+5%) y la tensión máxima en el secundario no puede exceder los 528V (480+10%), el valor k será:

$$k = \frac{14490 \times 480}{528 \times 13800} = 0,9545$$

La derivación para utilizar debe ser -5%.

Si la tensión máxima en el secundario no puede exceder los 506V (460+10%), el valor k será:

$$k = \frac{14490 \times 480}{506 \times 13800} = 0,9960$$

La derivación para utilizar debe ser la nominal, es decir, 1,0.

Naturalmente, esta definición asegurará que no habrá sobretensiones en el sistema y le permitirá analizar y gestionar los problemas de baja tensión que surjan.

Vale la pena recordar que hay sistemas definidos como  $480V \pm 10\%$ , que alimentan motores con tensión nominal de 440V, es decir, los motores podrían operar con hasta un 20% de sobretensión. Sin embargo, el problema de la sobretensión en los motores no es tan crítico como la sobretensión en los dispositivos de comando y control.

### 3.8 - Baja Tensión en Sistemas

La baja tensión en los equipos puede causar problemas en su funcionamiento, especialmente en los sistemas de iluminación, de comando y control.

Los problemas de baja tensión se agravan cuando la tensión de la fuente de alimentación se encuentra en situación precaria o crítica y el consumo de las cargas de instalación es mayor. Por ejemplo, considerando que la derivación utilizada en el transformador es -5% y la tensión de alimentación es 12420V (13800V, -10%) la tensión en el secundario del transformador, sin carga, vendrá dada por la fórmula:

$$V_S = \frac{V_P V_{S_n}}{k V_{P_n}}$$

Es decir

$$V_S = \frac{12440 \times 480}{0,95 \times 13800} = 455,5V$$

La tensión de 455,5V será la tensión mínima considerada para desarrollar los estudios del sistema. Si la tensión es demasiado baja, los transformadores se pueden especificar con derivaciones, en el devanado primario, diferentes de los normales, como + 2.5%, -3 x 2.5%, por ejemplo.

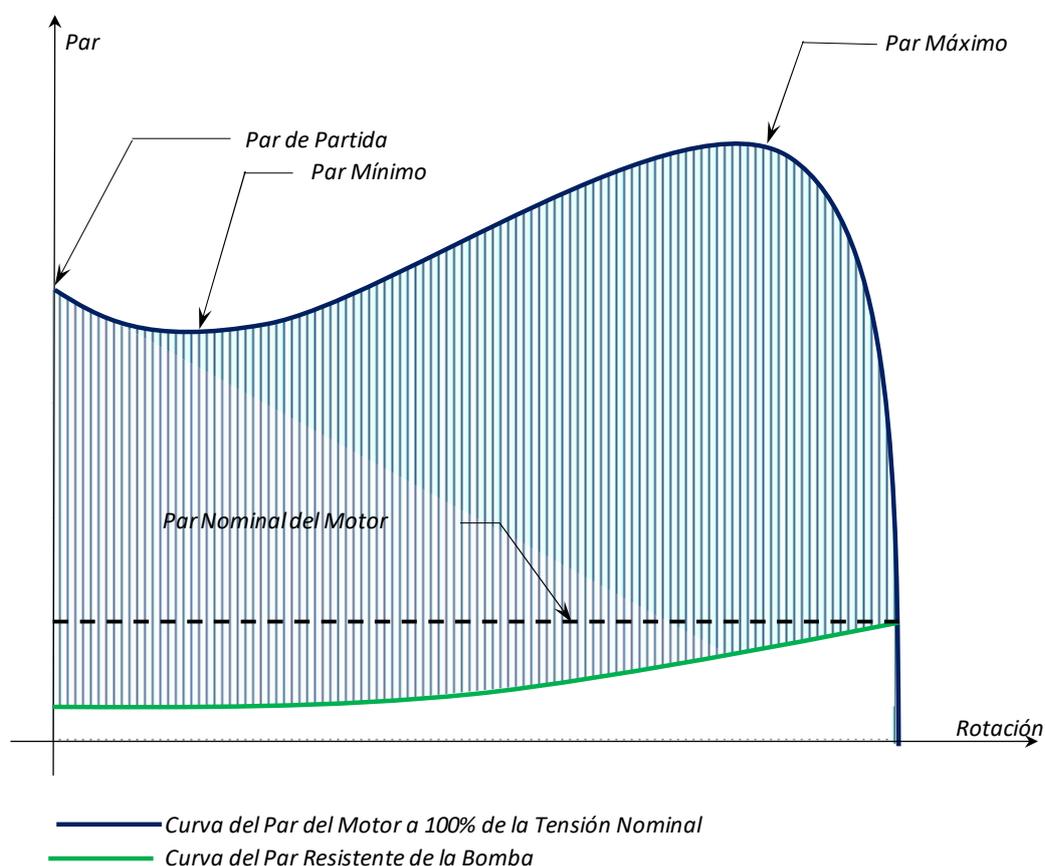
Se observa que, para determinadas condiciones de funcionamiento de los sistemas, los límites de caída de tensión definidos por las normas no pueden tenerse en cuenta y considerarlos como obligatorios, pero como se citan como máximos, los límites a considerar deben ser los necesarios para el funcionamiento de las instalaciones, incluso en regímenes precarios.

La baja tensión es más crítica para equipos de movimiento y elevación de cargas, porque como el conjugado de los motores es proporcional al cuadrado de la tensión, puede ocurrir que, en un determinado punto de la curva, el motor no sea capaz de impulsar la carga. Por lo tanto, para este tipo de cargas se deben utilizar convertidores específicos, como ya es una práctica común.

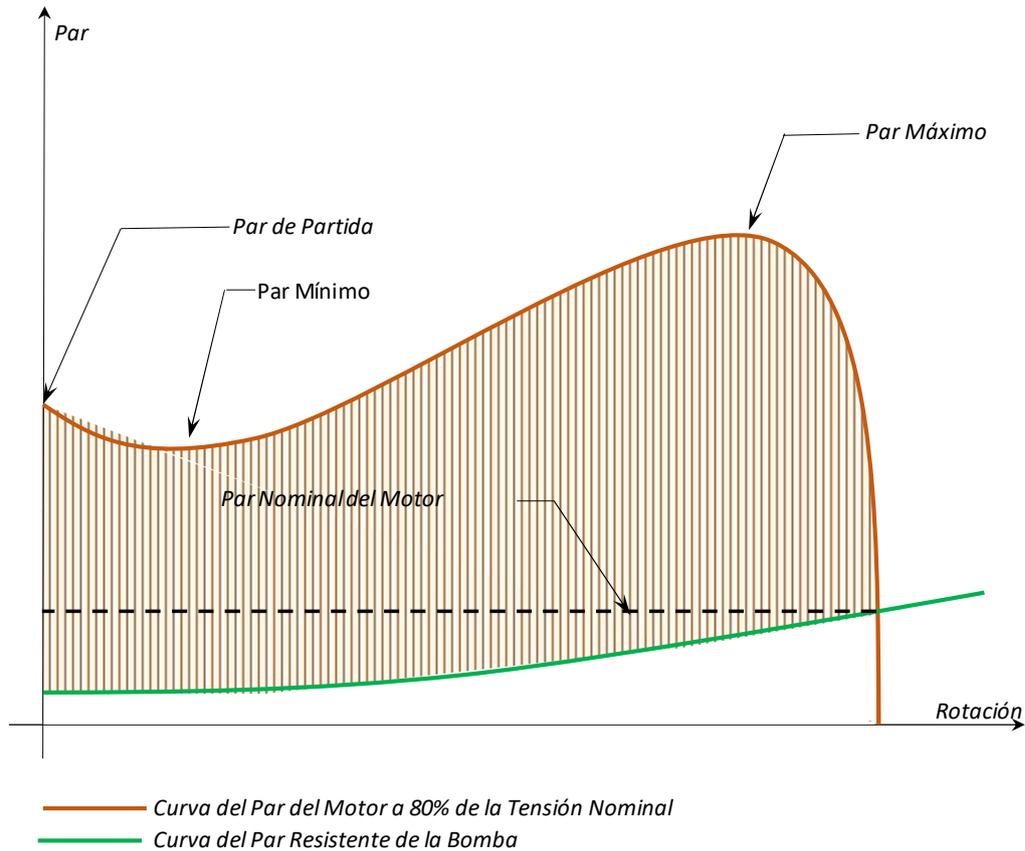
El arranque de los motores de bombas y compresores se puede realizar con tensiones inferiores a las definidas por las normas, siempre que el motor arranque dentro de un cierto tiempo y la caída de tensión causada no afecte el funcionamiento de su control y otras cargas del sistema.

Tener en cuenta el arranque estrella triángulo de motores se realiza con una reducción de la tensión, es decir, en lugar de arrancar con el 100% de la tensión nominal, el motor arranca con 57,73% (tensión fase-neutro en lugar de fase-fase), lo que reduce la corriente de arranque del motor y, en consecuencia, la caída de tensión en los alimentadores y circuitos de control, pero también reduce el conjugado motor al 33% del conjugado nominal.

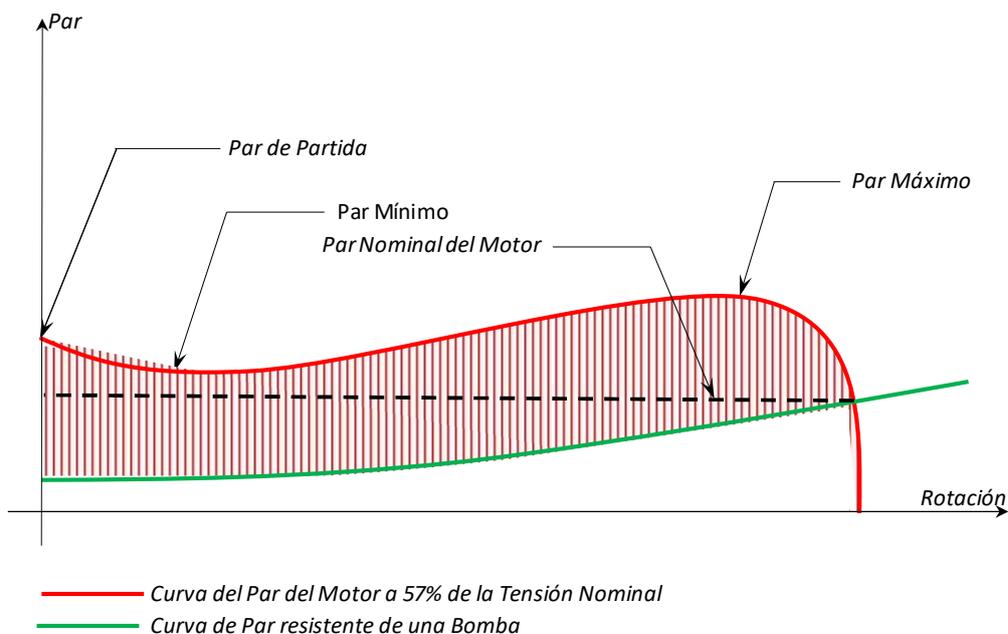
Las siguientes son las curvas típicas de motores (Par x Rotación) para el accionamiento de bombas.



En la figura se muestra la curva del motor con 100% de la tensión nominal y la curva del par resistente a la bomba. El área sombreada representa el par de aceleración que define el tiempo de arranque del conjunto.



En la figura se muestran las curvas del motor con 80% de la tensión nominal y la curva del par resistente a la bomba. El área sombreada representa el par de aceleración que define el tiempo de arranque del conjunto. Tenga en cuenta que el área correspondiente al par de aceleración es menor que la de la figura anterior y, por lo tanto, el tiempo de arranque será mayor.



En la figura se muestran las curvas del motor con el 57% de la tensión nominal y la curva del par resistente a la bomba. Esta condición corresponde al arranque con estrella-triángulo.

El área sombreada representa el par de aceleración del conjunto. En el caso del arranque estrella-triángulo, cuando la rotación alcanza aproximadamente el 90% de la rotación nominal, la conexión estrella para triángulo se cambia, ya la corriente inicial se reduce considerablemente. Tenga en cuenta que el motor podría incluso funcionar con tensión reducida (conexión en estrella), pero la corriente de funcionamiento, con tensión del 57% de la tensión nominal, sería el 175% de la corriente nominal y el motor se sobrecalentaría.

#### **4 - SITUACIONES MÁS FRECUENTES**

Las situaciones que normalmente aparecen, con respecto a las tensiones nominales y las variaciones de tensión, son las de una instalación existente o un nuevo proyecto.

##### **4.1 - Instalación Existente**

En una instalación existente los equipos y componentes están definidos y el trabajo consiste en realizar los ajustes necesarios en la instalación, con un mínimo de posibles modificaciones.

##### **4.2 - Nuevo Proyecto**

En un nuevo proyecto se definen las características de los sistemas (configuraciones, tensiones nominales de los sistemas y componentes, límites de uso admisibles, tipos de materiales, etc.) y, a partir de informaciones estimadas en las memorias de cálculo y especificaciones de los equipos de las instalaciones, se definen los equipos y componentes.

El nuevo proyecto también tiene una fase de características de instalación existente, porque los equipos y componentes siempre están dimensionados con datos preliminares y, posteriormente, es necesario verificar, con los datos reales si se siguen respetando las premisas que se adoptaron en el diseño inicial del proyecto.

#### **5 - CONCLUSIÓN**

La definición de las tensiones nominales de los sistemas y equipos se puede hacer con cierta facilidad, pero los límites de funcionamiento, en régimen permanente y transitorio, de las instalaciones y componentes, deben estudiarse cuidadosamente para evitar y minimizar problemas que normalmente se encuentran durante el desarrollo de la obra.