

NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.7/L.2.16
22 de noviembre de 1960

ORIGINAL: ESPAÑOL

CATALOGADO

SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE ENERGIA ELECTRICA

Auspiciado por la Comisión Económica para América Latina, la Dirección de Operaciones de Asistencia Técnica y la Subdirección de Recursos y Economía de los Transportes de las Naciones Unidas, conjuntamente con el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos.

México, 31 de julio a 12 de agosto 1961

CONSIDERACIONES ECONOMICAS AL ELEGIR LA TENSION DE LAS REDES
ABASTECEDORAS DE ENERGIA ELECTRICA

por F. Wienkén, H. Dorsch, y W. Bückner

Nota: Este texto será revisado editorialmente.

I N D I C E

	<u>Página</u>
1. Introducción.....	1
2. Tensión baja.....	2
3. Tensión media.....	3
4. Superposición de una tensión alta.....	8
5. Puntos de vista para el escalonamiento de la tensión en redes de distribución.....	10
6. Elección de la tensión para teletrans- misiones	
a) Puntos de vista técnicos.....	12
b) Puntos de vista económicos	
Valor de la tensión.....	13
Sección de los conductores.....	13
Dimensiones del aislamiento.....	14
Diseño de la línea aérea.....	16
7. Consideración de instalaciones ya existentes al construir nuevas redes.....	17
8. Resumen.....	19

1. Introducción

La elección de tensiones técnica y económicamente favorables para la transmisión y distribución de energía eléctrica es, hoy en día, un hecho de gran actualidad, ya que, debido a la rápida electrificación de todos los países del mundo, se van requiriendo siempre mayores capacidades y, con ello, más altas tensiones. Teniendo en consideración que el precio que deben pagar los consumidores de energía sea lo más bajo posible y, por otro lado, las dificultades de proporcionar el capital relativamente alto, necesario para nuevas construcciones, hay que prestar especial atención a la solución económica de las instalaciones eléctricas. Un factor muy importante es, en este caso, la elección de tensiones apropiadas, así como su conveniente escalonamiento.

La elección de las tensiones para una red de distribución de energía se ve influenciada por una serie de factores, como por ej. la potencia transmitida, la curva de las cargas, la consideración de tensiones ya existentes, la valorización de las pérdidas, las normas vigentes, etc., etc. Por estos motivos es casi imposible indicar una solución de validez general. Sólo se pueden dar normas generales, deducidas de exámenes económicos y de las experiencias adquiridas en redes ya existentes.

Tratándose de una red de distribución de pequeña extensión, con consumidores de poca potencia, la cual es alimentada por fuentes de energía que se encuentren en su misma zona o en las cercanías de ésta, como por ej. centrales Diesel o pequeñas centrales hidráulicas, entonces, es posible, que una sola tensión la tensión de servicio de los consumidores, sea suficiente. Esto cambia en el momento en que las fuentes de energía estén muy distanciadas del centro de consumidores, o cuando la alimentación se efectúe desde otras redes, así como cuando la potencia transmitida y la extensión de la red que nos ocupa sobrepasen ciertos límites. En tal caso se necesita una red con una tensión más alta. Si en un sistema de abastecimiento crece la extensión y la demanda de energía rápidamente, puede entonces requerirse otra tensión más alta, para poder por ej. transportar las grandes potencias generadas en centrales lejanas hasta los centros de consumición. Con ayuda de tensiones muy altas es también posible realizar una provechosa interconexión de grandes redes de abastecimiento con sus diferentes fuentes de energía. También motivos técnicos

/pueden requerir

pueden requerir el empleo de tensiones más altas. Como es sabido, aumentan las potencias de cortocircuito de acuerdo con las potencias transportadas. Potencias de cortocircuito muy altas y sus efectos pueden dominarse, en forma económica, mediante el empleo de tensiones altas.

De acuerdo con los problemas que deban solucionarse, deberá constituirse el sistema de abastecimiento de 1, 2 o más "planos de tensión", necesarios para el abastecimiento de los consumidores y para lograr un servicio de interconexión económico. En numerosos países se han formado ya denominaciones especiales para estos planos de tensión. El cuadro 1 muestra los diferentes planos de tensión y sus posibles campos de empleo. Dentro del margen de las presentes consideraciones deberá diferenciarse entre "Tensión baja - Tensión media - Tensión alta - Tensión muy alta", desprendiéndose de el cuadro 1 las correspondientes limitaciones.

Al principio de todo nuevo proyecto deberá estudiarse detalladamente cuál tensión será la solución más económica bajo consideración de todos los factores citados más arriba. En caso de ampliaciones de redes ya existentes, deberá examinarse si, a largo plazo y desde el punto de vista técnico y económico, las tensiones ya existentes son suficientes, y si estas tensiones deberán ser cambiadas inmediatamente o en el futuro por otras, por motivos económicos, así como cuáles tensiones serán las preferidas. Además, tratándose de tensiones muy altas, deberán analizarse las influencias climatológicas y el dimensionado del aislamiento.

2. Tensión baja

La tensión baja queda fijada por las normas vigentes en los diferentes países, por las prescripciones de seguridad y, finalmente, por consideraciones económicas. Por regla general se emplean tensiones de hasta 450 V para el abastecimiento público, y de hasta 600 V para empresas industriales. En el presente caso no vamos a analizar el voltaje más adecuado de esta baja tensión, sino que se contemplará como una cierta realidad. El objeto principal de los siguientes comentarios es el análisis de las tensiones altas.

3. Tensión

3. Tensión media

Debido al poco alcance de la tensión baja, se abastecen las redes de esta tensión generalmente a través de un número más o menos grande de estaciones transformadoras desde una red de tensión media. En estas redes de tensión media se encuentran, hoy en día, prácticamente todas las tensiones entre 3 ... 35 kV. Aunque ya un simple estudio muestre que en la mayoría de los casos y por motivos económicos las tensiones que sobrepasan los 10 kV no entran en consideración, se puede presumir que, dentro del margen relativamente grande entre este valor y 35 kV, la tensión media más económica tendrá valores diferentes, de acuerdo con la demanda de potencia y las condiciones geográficas.

Para obtener puntos de referencia para determinar la tensión media más económica, vamos a dar una idea general sobre los costes de los elementos de construcción necesarios para una red de tensión media, en dependencia de la tensión. Los costes para una red de 10 kV corresponden, en cada caso, al 100 por ciento. Como elementos de construcción se han tomado líneas aéreas, cables, transformadores, estaciones transformadoras y equipos de maniobra.

En el Gráfico I.1 puede verse la curva de los costes para líneas aéreas de 35 y 70 mm² StAl para corriente trifásica^{*}). Entre 10 y 35 kV, los costes aumentan continua y relativamente muy poco; para la sección pequeña en una forma algo más rápida que para la sección de 70 mm².

Del Gráfico I.2 se desprende la curva de los costes para cables de 50 y 120 mm² Cu^{*}), también para corriente trifásica. El aumento de los costes es aquí mucho mayor que para las líneas aéreas. Además existe un aumento brusco y considerable al cambiar el cable de un solo revestimiento por otro de tres envolturas.

Gráfico I.3; la curva de los costes de transformadores para 50 y 200 kVA^{*}), muestra un mayor aumento entre 20 y 30 kV que entre 10 y 20 kV.

Gráfico I.4 muestra la curva de costes de estaciones completas de transformación; aquí tiene validez lo dicho para el Gráfico I.3.

*) Diferentes secciones y potencias deben mostrar, en principio, su influencia.

El Gráfico I.5 representa la curva de costes para los equipos de distribución y maniobra; ésta muestra un mayor aumento para equipos de poca resistencia a los cortocircuitos (200 MVA ^{*}), mientras que el aumento para los equipos con mayor resistencia a los cortocircuitos (400 y 600 MVA) es relativamente pequeño.

De los Gráficos anteriormente citados se puede deducir que comparando los gastos en la zona de tensiones de 3 - 10 kV con los de 10 kV, no se obtiene un esencial ahorro de gastos. Lo decisivo en esta zona es la necesidad de emplear conductores con mayores secciones para el transporte de ciertas potencias, lo que conduce, generalmente, a redes de menos de 10 kV poco rentables.

Para dar una idea del porcentaje de los costes de los elementos de construcción en comparación con los costes totales para una red de media tensión, mostramos en el Gráfico I.6, a la izquierda, la subdivisión de los gastos para una red rural de media tensión con líneas aéreas y, a la derecha, la misma subdivisión para una red urbana con cables.

En el caso de la red rural, los conductores tienen generalmente grandes longitudes, debido a la distancia existente entre los consumidores o los grupos de consumidores. Los costes de una tal red quedan, pues, determinados por los costes de las líneas aéreas. Dado que los costes de las líneas aéreas, en dependencia de la tensión, aumentan sólo en forma reducida, pero, por otro lado, aumentan considerablemente la capacidad y la distancia de transmisión, obteniéndose también una reducción considerable mediante la elección de secciones pequeñas, la tensión media económica para redes rurales será, generalmente, una que se encuentre en la zona de voltajes altos. Compárese con el ejemplo indicado en la página 7.

En una red urbana con cables, la situación es diferente. Las longitudes de los cables son, comparadas con las de las líneas aéreas de las redes rurales, mucho más pequeñas; por el contrario, el número de estaciones transformadoras y las potencias de estas últimas es mucho

*) Diferentes secciones y potencias deben mostrar, en principio, su influencia.

más elevado, de forma que, según vaya aumentando la potencia, los costes de las estaciones transformadoras ejercerán una mayor influencia. Como los costes de los cables en dependencia de la tensión aumentan más rápidamente que los de las líneas aéreas, la tensión media más económica no tenderá mucho hacia los valores altos, como en las redes rurales. Se ha comprobado, que la tensión media más económica para redes con cables se encuentra entre los límites relativamente amplios de 10 y 20 kV. Se quedará más cerca de los 10 kV cuando, por ej., las potencias transportadas no sobrepasen ciertos límites, cuando, debido a la situación unilateral de los centros de consumición o al tener que salvar zonas con muy pocos consumidores o sin ninguno, como por ej., parques, jardines, instalaciones ferroviarias, etc., etc., las longitudes del cable no sean muy importantes y, finalmente, cuando el número de los consumidores industriales que requieren equipos especiales para los puntos de transferencia sea muy grande. Por el contrario, tenderá más hacia el valor de 20 kV cuando se trate de grandes potencias y de largas longitudes de transmisión. El empleo de tensiones medias de menos de 10 kV, podrá considerarse como económico sólo en los casos, en los que se trate de zonas de abastecimiento muy pequeñas o de redes a las que esté conectado un gran número de motores de alta tensión (redes industriales). Basándose en estos conocimientos, los especialistas de la IEC recomendaron en su asamblea, celebrada en Estocolmo en 1958, no elegir en el futuro tensiones inferiores a 10 kV para las redes públicas de distribución de energía eléctrica.

Los siguientes puntos de vista técnicos y económicos hacen recomendable el empleo de medias tensiones más altas:

a) Mayor capacidad de transmisión de los conductores

El Gráfico II muestra las capacidades económicas para transmisiones de 10, 20 y 30 kV con conductores de diferentes secciones. La gran diferencia entre las líneas aéreas y los cables se debe, en parte, al material escogido para los conductores: una aleación de acero y aluminio para las líneas aéreas y cobre para los cables. Puede verse claramente que, al aumentar la tensión de servicio, se agranda la capacidad de transmisión de las líneas aéreas y de los cables mucho más que al aumentar la sección de los conductores y mantener la misma tensión.

/b) Diferencia

b) Diferencia de tensión más pequeña en los conductores o mayor distancia admisible de transmisión con igual porcentaje de la diferencia de tensión

El Gráfico III como suplemento del número II, muestra el alcance de líneas aéreas y cables de tensión media con una diferencia de tensión ya dada (5 por ciento para los cables; 8 por ciento para las líneas aéreas) al transmitir la potencia económica. El alcance de las transmisiones aumenta en forma prácticamente lineal con el aumento de la tensión. Mayores alcances a los indicados en el Gráfico III sólo pueden alcanzarse, con una diferencia de tensión ya fijada, reduciendo las capacidades de transmisión. Sin embargo, en tales casos, las líneas no transmitirían la potencia económica.

c) Estaciones transformadoras de mayor capacidad y menores costes específicos

Dado que el volumen económico de las zonas de tensiones medias aumenta con las mayores tensiones, es posible construir las estaciones transformadoras que abastecen tales zonas para mayores potencias y, con ello, con costes específicos reducidos. A esto hay que añadir que también los costes para la red de alta tensión superpuesta serán menores.

d) Menos pérdidas de transmisión

Con la misma sección, las pérdidas de la red se reducen en forma cuadrática con el aumento de la tensión. Mismamente al aumentar la tensión y reducir la sección en forma proporcional inversa, las pérdidas de la red disminuyen, al aumentarse la tensión, en forma lineal.

e) Reducción de los costes de los conductores al elegir secciones más pequeñas

Los costes de las instalaciones de líneas aéreas y cables para tensiones medias altas se reducen, si las secciones de los conductores disminuyen en forma proporcional. Sin embargo, hay que tener aquí en consideración que el límite inferior queda fijado por la resistencia térmica de los conductores a los cortocircuitos.

f) Menores cargas con iguales capacidades de cortocircuito

La intensidad de la corriente de cortocircuito disminuye según vaya aumentando la tensión, lo que significa que, en caso de un cortocircuito, las instalaciones tendrán que soportar menores cargas, con la consiguiente reducción de los posibles defectos.

/g) Reducción

g) Reducción del número de las líneas que salen de las estaciones transformadoras

El número de líneas, que puede salir de una estación transformadora, está limitado. Con una tensión media demasiado pequeña y potencias grandes, se obtendría un sinnúmero de salidas, lo que significaría no sólo dificultades de carácter técnico, sino también muchos gastos adicionales.

La ventajas económicas de una alta tensión media se muestran especialmente en aquellos casos, en los que se pueda aprovechar toda la capacidad de esta tensión más alta. A base de dos ejemplos, uno con una red urbana de cables y el otro con una red rural de líneas aéreas, vamos a procurar aclarar la relación de los costes de redes con diferentes tensiones medias entre 10 y 30 kV y con diferentes extensiones de las zonas de abastecimiento.

Ejemplo N° 1 (Gráfico IV).

Red de cables para tensión media; densidad de carga 2 MVA/km^2 ; tamaño de los puestos transformadores por término medio 315 kVA con 75 por ciento de carga; sección del cable para 10 kV: $3 \times 120 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$; para 20 kV: $3 \times 70 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$; para 30 kV: $3 \times 50 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$; precio de las pérdidas (contiene el precio del trabajo y el precio de la potencia) U\$S 60 por kW y año; radio de la zona de abastecimiento: 1 km, 2 km y 3 km de acuerdo con una potencia de la zona de 7,9 MVA, 31.4 MVA y 70.6 MVA.

Los costes específicos calculados para la red, contienen no sólo los costes de la instalación, sino también los costes capitalizados de las pérdidas desde la estación transformadora hasta el lado secundario de los puestos de la red, referidos a la potencia suministrada. Los costes se han fijado para 10 kV y $R = 1 \text{ km}$ en 100 por ciento. Las curvas de los costes muestran, como era de esperar, que según va aumentando la zona de abastecimiento, aumenta también el voltaje de la tensión económica. Tensiones de más de 20 kV son, sin embargo, nada rentables debido a los grandes gastos originados por los puestos transformadores de la red.

Ejemplo N° 2 (Gráfico V).

Red de líneas aéreas para tensión media; densidad de carga 10 kVA/km^2 ; tamaño de los puestos transformadores (transformadores de poste) 100 kVA por término medio con 60 por ciento de carga; sección de la línea

/aérea para

aérea para 10 kV: 3 x 70 mm² StAl; para 20 kV: 3 x 50 mm² StAl; para 30 kV: 3 x 35 mm² StAl; precio de las pérdidas (contiene el precio del trabajo y el precio de la potencia) U\$S 60 por kW y año; radio de la zona de abastecimiento; 10 km, 20 km y 30 km de acuerdo con una potencia de la zona de 3.14 MVA, 12.56 MVA y 28.2 MVA.

Los costes específicos de la red se fijaron para 20 kV y R = 10 km en 100 por ciento. Las curvas alcanzan su punto inferior, para los tres radios elegidos, entre 20 y 30 kV. Según va aumentando la zona de abastecimiento el punto inferior se desplaza hacia la tensión más alta. En principio puede deducirse de esto, que tales redes rurales deben llevar tensiones medias lo más altas posibles, alrededor de unos 20 kV, en casos excepcionales hasta alrededor de 30 kV. Las tensiones inferiores a 15 kV, no son económicas, y, por lo tanto, no deberían emplearse.

4. Superposición de una tensión alta

Según va aumentando la potencia, se superpone a la red de media tensión una red de alta tensión para poder transportar la energía en forma más económica desde las centrales o desde las redes interconectadas hasta los centros de demanda, para traspasarla aquí a la red de tensión media, a través de estaciones transformadoras. Según ha quedado demostrado por estudios económicos, el voltaje de la tensión superpuesta debe tener una proporción de 3 : 1 como mínimo y de 10 : 1 como máximo con la tensión media.

En cada caso especial, las potencias a transmitir y las distancias de transmisión son los factores decisivos para la elección de las tensiones superpuestas. El Gráfico VI muestra, como ejemplo, los gastos de transmisión para las tensiones de 30, 60 y 110 kV como función de la potencia transmitida, habiéndose elegido como parámetro tres distancias de transmisión, para cada caso. Se han comparado los costes de líneas aéreas simples (Gráfico VIa) y de cables (Gráfico VIb) con sus correspondientes instalaciones de distribución, habiéndose capitalizado los costes anuales de las pérdidas con el factor 10.

Las curvas de los costes muestran que, en dependencia de la distancia y a partir de ciertas potencias de transmisión, es conveniente elegir la próxima tensión normalizada más alta. Sin embargo, deberá tenerse en consideración que los equipos de la red, no pertenecientes a las líneas, como

celdas de maniobra para los transformadores, celdas de acoplamiento, así como los transformadores no están incluidos en estas consideraciones, de forma que estos aumentarán los costes si se elige una tensión más alta. Por lo tanto, deberán sumarse proporcionalmente a los costes de los conductores, con lo que los puntos de intersección de las curvas de costes para diferentes tensiones se desplazarán, en el Gráfico, algo más hacia la derecha, es decir a las potencias algo más elevadas.

Del Gráfico VI puede deducirse también que el empleo de tensiones más altas en redes rurales de líneas aéreas con grandes distancias de transmisión, aún tratándose de potencias mucho más pequeñas, es más económico que en redes urbanas de cables con pequeñas distancias de transmisión.

Los costes de los elementos de la red en la zona de las tensiones altas aumentan, con el crecimiento de la tensión, más rápidamente que en la zona de las tensiones medias, con excepción de las líneas aéreas (Gráfico VII). Llama la atención aquí el brusco aumento de los costes de las instalaciones de distribución para tensiones altas, mientras que los costes de las líneas aéreas aumentan relativamente poco. De esto puede derivarse que en las redes rurales de alta tensión y de gran extensión, en las que las líneas aéreas representan la mayor parte de los gastos totales de la red, es posible aumentar la capacidad de las redes en forma relativamente económica, eligiendo tensiones más altas. Desde luego, esta medida es lógicamente sólo conveniente cuando la capacidad de las redes vaya a ser aprovechada completamente una vez terminada su instalación.

En las redes urbanas con cables de alta tensión, los gastos de inversión crecen bruscamente con el aumento de las tensiones, debido al alto porcentaje de los cables y de las instalaciones de distribución y maniobra. La elección de una tensión económica requiere aquí una mayor importancia, ya que la curva de los costes de la red en dependencia de la tensión no es tan plana como la de las líneas aéreas, sino que muestra un mínimo más pronunciado. La elección de una tensión alta para una red urbana puede ser influenciada, en cierto grado, por el voltaje de la red interconectada o por la tensión de transmisión de las centrales que se encuentren en las cercanías. Adaptando la tensión de la red urbana a dicha otra tensión, se obtienen muchas veces ventajas económicas al ahorrarse una transformación.

5. Puntos de vista para el escalonamiento de la tensión en redes de distribución

Los límites del escalonamiento entre la tensión media y la tensión alta dependen de diferentes factores, entre los que se encuentran: el desarrollo temporal de la carga; la densidad de la carga y su distribución en la zona de abastecimiento; la tensión en la red interconectada y las normas vigentes para las tensiones.

Cuanto más rápidamente se desarrolle la carga en una zona de abastecimiento, tanto mayor podrá elegirse el escalonamiento de las tensiones, ya que la red de alta tensión superpuesta será cargada económicamente en un próximo futuro y las inversiones realizadas se amortizarán pronto. Esencial importancia tiene aquí el tipo de intereses que haya que pagar por el capital necesario para las inversiones. Depende también de si el capital necesario puede proporcionarse fácilmente o sólo después de salvar grandes dificultades.

Si la carga se desarrolla lentamente, entonces puede tomarse como valor de referencia para un escalonamiento favorable de la tensión media a la tensión alta la relación de 1 : 3. En caso de aumentar normalmente la carga, dicha proporción puede crecer aprox. a 1 : 5. Únicamente en casos de aumentos excepcionales de la carga o cuando existan otros motivos especiales, deberá tomarse para el escalonamiento de la tensión la relación de 1 : 10.

El otro factor importante es la densidad de la carga y su distribución en la zona de abastecimiento, ya que en esta última la densidad no es siempre constante, sino que cambia en amplios límites. Así, por ej., el centro de una ciudad tiene una densidad de 20 MVA/km², mientras que las zonas del extrarradio, de carácter aún rural y que pertenecen a la misma zona de abastecimiento, tienen una densidad de sólo 0.01 MVA/km². Mientras que para el centro de la ciudad resultaría económico elegir un gran escalonamiento, por ej. 110/10 kV (132/13.2 kV), este escalonamiento resultaría poco rentable para las zonas del extrarradio con su poca concentración de carga. En estas zonas sería conveniente emplear una tensión intermedia de 3:1 hasta 5:1 de la tensión media. Con esta tensión intermedia se abastecerían, en forma económica y durante un período relativamente /largo, las

largo, las zonas del extrarradio hasta que en ellas aumentase la densidad tanto que hiciese conveniente cambiar la citada tensión intermedia por la tensión alta empleada en el centro de la ciudad.

La tensión de la red interconectada puede influenciar también el escalonamiento. En este caso hay dos alternativas: o se adapta la tensión alta empleada para la distribución de la energía por las ciudades y las zonas rurales a la tensión de la red interconectada (para evitar así la consiguiente transformación) o, caso que esto fuese poco rentable debido a la potencia demasiado pequeña, se elige una tensión intermedia que esté en una relación favorable con la tensión media y con la tensión de la red interconectada. En este último caso y si en el futuro se aumentase la demanda, podría eliminarse totalmente o en parte dicha tensión intermedia para evitar una doble transformación.

Al elegir la tensión o el escalonamiento hay que tener en consideración las normas vigentes, las que lamentablemente no son para todos los países iguales. El adaptar las tensiones de la red a los voltajes normalizados, trae consigo una simplificación del almacenamiento de las piezas de repuesto para las empresas abastecedoras y para las casas proveedoras de equipos eléctricos la posibilidad de producir económicamente y, por lo tanto, de suministrar a precios más baratos. Adaptando la tensión a las normas se simplifica la elección del escalonamiento de las tensiones en las redes, ya que con ello se reduce el número de las alternativas, que en cada caso especial tienen que examinarse.

En la práctica se han formado muy numerosos escalonamientos de tensiones. Sin embargo, basándose en las consideraciones que hemos venido haciendo hasta aquí, parece conveniente realizar el escalonamiento dentro de los límites siguientes:

150 ... 220 kV/60 ... 70 kV/10 ... 20 kV
110 ... 150 kV/30 ... 70 kV/10 ... 20 kV
110 ... 150 kV/10 ... 20 (30) kV

6. Elección de la tensión para teletransmisiones

a) Puntos de vista técnicos

Para la elección de la tensión de servicio de líneas aéreas de alta tensión con distancias de transmisión de varios cientos de kilómetros, se obtiene un primer valor básico de la llamada potencia natural de la línea. Esta potencia natural P_{nat} queda determinada por la impedancia característica Z de la línea y por la tensión de servicio U_b :

$$P_{nat} = U_b^2 / Z$$

La impedancia característica de líneas aéreas depende relativamente poco de las dimensiones geométricas de los conductores y alcanza valores de aprox. 370 a 400 Ohmios para líneas de un solo conductor. Líneas de conductores entrelazados tienen impedancia característica más pequeña. Por lo tanto, la potencia natural de conductores entrelazados es mayor y llega a alcanzar, por ej. para conductores de 2 haces, un 30 a un 40 por ciento más que las líneas de un solo conductor.

En el cuadro 2 hemos indicado valores de orientación para la impedancia característica de líneas unifilares y multifilares, habiendo partido de los diámetros mínimos para los conductores. Estos diámetros mínimos quedan determinados por las intensidades eléctricas admisibles de los campos marginales en atención a la limitación de las perturbaciones de alta frecuencia y a las pérdidas de corona. Según las experiencias y los estudios hechos aquí en Alemania, puede considerarse como admisible una intensidad media del campo marginal (valor efectivo) de 15 ... 16 kV/cm.

En el Gráfico VIII mostramos las potencias naturales de líneas simples y dobles, en dependencia de la tensión, habiéndose marcado en este Gráfico las tensiones máximas admisibles U_m fijadas por el IEC. Como tensión de servicio hemos presupuesto una tal de $U_b = 0.95 U_m$.

Para la transmisión de 245 kV ($U_b = 233$ kV) se obtiene así, por ej., para una línea simple con un conductor por fase, una potencia natural de 140 MW y, para una línea doble con conductores de 2 haces, una tal de 400 MW.

Tratándose de grandes distancias de transmisión de más de 500 km, la potencia de transmisión es más pequeña que la potencia natural, siempre

/que no

que no se empleen medios auxiliares (por ej. condensadores en serie) para asegurar la estabilidad de la transmisión. Por el contrario, para distancias entre 100 y 200 km podrán transmitirse mayores potencias. En líneas muy cortas, la potencia de transmisión queda limitada por la cargabilidad térmica.

b) Puntos de vista económicos

Valor de la tensión.

La elección de la tensión de servicio más económica depende de la potencia de transmisión requerida y de la distancia. Para una primera orientación, hemos indicado en el Gráfico IX las tensiones que pueden entrar en consideración en dependencia de los valores citados anteriormente, así, por ej., la tensión económica para la transmisión de una potencia de 30 MW a una distancia de 100 km sería $U_m = 123$ kV.

Los costes anuales de transmisión con tensiones de $U_m = 123, 245$ y 420 kV, en dependencia de la potencia de transmisión de cada sistema y de la distancia, se han representado en el Gráfico X. En estos costes se han incluido también los de las estaciones transformadoras. Para estos cálculos se ha tomado como base un tiempo de servicio de 4500 horas p.a. (grado de carga $m = 0.51$). Para los fondos necesarios en un año para intereses, amortización y gastos de mantenimiento hemos calculado un valor del 10 por ciento. Los datos característicos técnicos y los costes de las líneas consideradas en este caso se encuentran en el cuadro 3.

De las curvas del Gráfico X puede deducirse que la tensión económica para potencias de transmisión de por ej. 100 MW por sistema es la de 245 kV. Esto tiene validez para distancias de transmisión entre 50 y 400 km. Para potencias de 400 ... 600 MW por sistema, la tensión económica es la de 420 kV.

Sección de los conductores

Suponiendo que la potencia de transmisión y la correspondiente tensión estén dadas, habrá que tener aún en consideración la densidad más económica de la corriente al dimensionar la sección de los conductores. En el Gráfico XI hemos representado la densidad de corriente económica en dependencia del grado de carga y del precio de trabajo con un porcentaje de capital de $z = 12$ por ciento, habiéndose tomado para este ejemplo una tensión de 245 kV. En dicha representación gráfica puede verse que la densidad económica de la corriente cambia sólo en una zona relativamente estrecha.

Con un grado de carga de por ej. $m = 0.5$, la densidad cambia, presuponiendo los precios usuales para la energía, entre 0.8 y 1.0 A/mm². Para líneas con conductores entrelazados y para líneas dobles se obtienen aprox. los mismos valores.

Tomando como punto de partida la intensidad de la corriente de transmisión, puede determinarse aprox. la sección económica, en dependencia del grado de carga. Esta sección deberá dimensionarse entonces teniendo en consideración las intensidades de campo admisibles (diámetro, cable simple o cable con haces de conductores). Aquí hay que considerar sólo los costes de transmisión de la línea. Para cada caso especial, el dimensionado definitivo deberá ser sometido a una exacta revisión con miras a alcanzar la mayor economía para el citado caso.

Dimensionado del aislamiento

Los costes de los medios de servicio para transmisiones de alta tensión (transformadores, aparatos de alta tensión, equipos de distribución y mando) dependen del nivel requerido para el aislamiento, es decir de la capacidad aislante requerida para tensiones de choque y tensiones alternas (tensiones de prueba).

La base para un diseño económico y para el aprovechamiento del aislamiento son las solicitaciones que puedan aparecer durante el servicio. Estas son, para redes de líneas aéreas, en primera línea las descargas atmosféricas, las cuales pueden ser limitadas en la instalación mediante el montaje de descargadores de sobretensiones. El nivel de aislamiento, que gracias al empleo de descargadores queda garantizado es la base para un diseño económico del aislamiento.

El nivel de aislamiento en instalaciones con una puesta a tierra eficaz del punto neutro, es inferior al de redes con compensación de contactos a tierra, dado que la tensión contra tierra, en caso de contactos a tierra, es más pequeña y, por lo tanto, se pueden emplear descargadores para tensiones nominales más pequeñas, los llamados descargadores de 80 por ciento. Basándose en el nivel de protección más bajo de estos descargadores, se ha hecho costumbre internacional, reducir el aislamiento de las instalaciones que dispongan de una puesta a tierra eficaz del punto neutro y altas tensiones de serie. De acuerdo con esto, se requieren para los elementos de servicio

/tensiones de

tensiones de choque y tensiones alternas de prueba más pequeñas, para reducir así los costes de instalación.

En el cuadro 4 se encuentran los valores recomendados actualmente por el IEC, que deberán tomarse como base para el diseño del aislamiento. Es digno de observar, que estos valores han sido reconocidos internacionalmente y que muchas normas y prescripciones nacionales han sido adaptadas a ellos. Sería de desear y traería grandes ventajas consigo, si las naciones, que hasta ahora no poseen tales normas o prescripciones, las aceptasen para su país, ya que la uniformidad y la limitación de la tensión a unas cuantas series nada más, favorecería la economía del abastecimiento con energía eléctrica.

El cuadro 4 muestra la tensión de choque máxima admisible requerida para la zona plena normalizada, así como la tensión alterna de prueba. En la última columna se han indicado las distancias mínimas de aire requeridas para la construcción de tales instalaciones. Así, por ej., se necesita para un choque de 550 kV y clase de aislamiento 123f, una distancia mínima de 1150 mm, mientras que con un aislamiento reducido y clase de aislamiento 123r, sólo se requieren 920 mm. El volumen de una estación bajo techo para 123 kV se reduce, por ej. en un 20 a un 25 por ciento, si la estación se construye para un nivel de aislamiento de 450 kV en lugar de para 500 kV, con lo que ya sólo los gastos de construcción se reducirán proporcionalmente.

El continuo y progresivo mejoramiento de los descargadores de sobretensiones, así como las buenas experiencias adquiridas durante muchos años de servicio en diferentes países, dan como resultado que, en muchos países, se tiende a disminuir el nivel de aislamiento para transmisiones de alta tensión. Así, por ej., hoy en día, en los Estados Unidos de Norte América se diseña una parte de los transformadores para redes de 245 kV, con puesta a tierra eficaz del punto neutro, para un nivel de onda completa de 750 kV, mientras que las directivas del IEC fijan un valor de 900 kV.

Un problema especial representa el dimensionado económico y seguro del aislamiento de estaciones a la intemperie y de líneas aéreas que estén sometidas a condiciones climáticas desfavorables, como grandes ensuciamientos originados por industrias, sedimentaciones salinas en las cercanías de la costa, etc., etc.

Todos los aisladores, cuyas superficies estén expuestas a la atmósfera, sufren una considerable reducción de su capacidad aislante debido a la niebla, rocío y capas conductoras que se forman con los años. Esta reducción se refiere, sobre todo, a la capacidad de aislamiento con la tensión y la frecuencia de servicio; para las tensiones de choque esta influencia es relativamente pequeña. La prueba bajo lluvia, con tensión alterna, que se requiere aún hoy muchas veces para la determinación del aislamiento al aire libre, no dá resultados característicos para la determinación de la capacidad de aislamiento en estado sucio. Por lo tanto, el empleo de aisladores que soporten tensiones alternas de prueba muy altas, no representa la solución económica del problema.

Nuevos conocimientos corroborados por experimentos y las experiencias adquiridas durante el servicio, han demostrado que es posible mejorar considerablemente la capacidad de aislamiento de los aisladores mediante un diseño apropiado de su superficie (por ej. número y forma de las pantallas) sin necesidad de agrandar la longitud de construcción. En casos especialmente desfavorables ha resultado una solución económica el limpiar periódicamente los aisladores (con chorro de agua, bajo tensión). Desde hace algunos años, se viene empleando con buen resultado un ligero engrase con silicón.

Diseño de la línea aérea

Al proyectar una línea aérea y después de haber fijado la tensión de servicio, la sección de los conductores, el aislamiento requerido y el trazado de la línea, deberán tomarse decisiones sobre el diseño de los soportes para la línea aérea. Para encontrar la solución técnica más favorable, deberá estudiarse la construcción de los postes, la forma de los fundamentos, los vanos, la tensión mecánica de la línea y la clase de conductor a emplear. El Gráfico XIII muestra los costes de líneas aéreas de alta tensión, subdivididos en los diferentes factores que componen tales costes. Aquí puede verse que los postes y los fundamentos representan un gran porcentaje (40 por ciento aprox.) del coste total de la línea. El diseño óptimo de estas partes de la línea tiene, por lo tanto, la misma importancia que el dimensionado correcto de las partes eléctricas, como conductores y aisladores.

El diseño de los postes determina, no sólo los costes de los postes mismos, sino también en forma muy esencial los costes de los fundamentos. Al realizar estudios económicos deberán, pues, tenerse estos en consideración cuando llegue la hora de tomar decisiones sobre la forma de los postes. Sobre todo, si el subsuelo es malo, el costo de los fundamentos puede representar un alto porcentaje de los costes totales. El empleo de postes con sólo tres pies en lugar de cuatro representa, muy a menudo, un esencial ahorro de los costes de los fundamentos pero no de los postes. Desde hace algún tiempo se vienen empleando, con éxito, en lugar de hierro perfilado, tubos de acero con hormigón centrifugado. En nuevas construcciones, se han empleado ya, en parte, aceros con una mayor resistencia a la rotura, para ahorrar así material y reducir el peso total de poste.

La distancia óptima entre los postes depende, en primera línea, del voltaje. Del Gráfico XIII puede desprenderse que para cada línea existe una separación óptima de los postes, en la cual los costes totales para postes, fundamentos, aisladores, accesorios, puestas a tierra, adquisición de terrenos y daños rurales son los más reducidos. La separación óptima entre postes aumenta según vaya aumentando la tensión, igualmente que con un subsuelo malo. Otro punto importante es la determinación de la tensión mecánica de los conductores, ya que esto influye también sobre los costes. El valor de la tensión mecánica depende de la tensión de servicio y debe ser determinado, en forma óptima, para cada caso.

7. Consideración de instalaciones ya existentes al construir nuevas redes

Las observaciones que hemos venido haciendo hasta aquí se refieren, en lo esencial, a la determinación de tensiones y escalones de tensión económicos para nuevas construcciones de redes. En muchos casos, sin embargo, se tratará de ampliar redes ya existentes. Los materiales, que comprenden tales redes, representan, por lo general, grandes valores, que deberán tenerse en consideración al determinar las tensiones favorables, siempre que puedan prestar aún servicio durante una larga temporada.

/Cuando en

Cuando en una red existente se aumenten las potencias, deberá examinarse, en primera línea, si las tensiones disponibles son aún suficientes o si conviene superponer una tensión más alta. Al tomar estas decisiones, deberá pensarse si, al superponer una tensión más alta, se puede suprimir total o parcialmente una tensión intermedia (compárese el cuadro 1) o si es posible modificar una tensión. Debido a las instalaciones y equipos existentes no será, en muchos casos, posible adaptarse a las tensiones o escalonamientos que, en caso de una nueva red, fuesen los más económicos, sino que habrá que buscar aquella solución general que, a larga vista, sea la más favorable bajo consideración de los hechos existentes y de los factores influyentes. En muchos casos, la práctica ha demostrado ya que también en redes existentes es posible reducir, en el transcurso del tiempo, considerablemente los costes con ayuda de proyectos especiales relacionados con las tensiones empleadas y su escalonamiento.

Debido al sinnúmero de factores que influyen la elección de las tensiones, hemos podido hacer sólo observaciones sobre los más esenciales con las consiguientes conclusiones para el planeamiento general. Por lo tanto, debería efectuarse en cada caso especial un planeamiento muy amplio de la red, teniendo en consideración lo mismo los motivos técnicos que los económicos. Quedará así garantizado a larga vista, que el capital invertido en el abastecimiento de energía eléctrica se amortice en forma económica.

8. Resumen

La economía del abastecimiento de energía eléctrica queda determinada, en lo esencial, por la elección de la tensión para redes de distribución y de transmisión. En la gama de tensiones superiores a 1 kV, se han hecho observaciones sobre los factores que influyen sobre la elección de la tensión. Consideraciones fundamentales y algunos ejemplos muestran las normas a seguir para el empleo de tensiones en la gama de tensiones medias y altas, así como su favorable escalonamiento. A este respecto se ha examinado la influencia de la densidad de carga y la distancia y potencia de transmisión sobre la tensión elegida. El progresivo aumento de las potencias hace también necesario tener en consideración el desarrollo de la carga en una zona de abastecimiento. Otro punto igualmente importante es la adaptación de las tensiones a las normas y prescripciones vigentes.

Los estudios hechos hasta aquí muestran que para nuevos proyectos en la gama de tensiones medias no deberían emplearse tensiones inferiores a 10 kV. En ciudades con redes de cables resultan económicas las tensiones entre 10 y 20 kV, mientras que para las redes rurales de líneas aéreas dichas tensiones se encuentran entre 15 ... 30 kV. El escalonamiento favorable de la tensión media con relación a la tensión alta superpuesta es, en la mayoría de los casos, la de 1 : 5. Desde luego es posible que, en casos especiales, esta relación se altere en amplios márgenes, tendiendo por ejemplo a un valor más alto al aumentar considerablemente la densidad de carga, o hacia un valor más pequeño cuando el aumento de la potencia de la red sea muy paulatino.

Al proyectar redes para tensiones muy altas, se presentan otros problemas especiales, como el dimensionado del aislamiento y el diseño de las líneas aéreas. En la gama de tensiones muy altas, la influencia del dimensionado del aislamiento sobre los costes puede ser de gran importancia, sobre todo cuando existan condiciones climáticas especiales, por ejemplo clima de montañas, o peligro de ensuciamiento. Se han dado directivas para el dimensionado del aislamiento, basadas en las nuevas normas del IEC. Muy importante es también el diseño económico de líneas aéreas de alta tensión, ya que los costes de las líneas representan un alto porcentaje de los costes totales de una

/línea de

línea de transmisión a grandes distancias. Se han tratado pues, los factores esenciales que ejercen una influencia sobre los costes de líneas aéreas.

Finalmente, se hace destacar, que al proyectar y determinar nuevas tensiones de servicio, habrá que tener en consideración las instalaciones ya existentes, siempre que estas sean aún aptas para el servicio. Esto hace que no siempre sea posible introducir aquellas tensiones que, durante el planeamiento, se hayan determinado como las más favorables, ya que una modificación de las tensiones existentes resultaría, en muchos casos, una solución muy poco económica en comparación con el capital invertido.

/Cuadro 1

Cuadro 1

PLANOS DE TENSIONES Y CAMPOS DE APLICACION

Gama de tensión	Denominación	Campos de aplicación
Menos de 1 kV	tensión baja	Redes de distribución para la alimentación de consumidores de baja tensión como hogares, pequeñas industrias, tiendas, hoteles
1 - 35 kV	tensión media	idem idem para la alimentación de las redes de baja tensión de los grandes consumidores como tiendas grandes, escuelas, hospitales, empresas industriales, edificios de administración, etc.
30 - 150 kV	Tensión alta ^{a/}	Redes de distribución y transmisión para la alimentación de redes de tensión media. Consumidores; ciudades, industrias, ferrocarriles, redes nacionales de energía.
Mas de 150 kV	tensión muy alta	Redes de transmisión para grandes potencias y servicio de interconexión

^{a/} Al emplear dos tensiones altas, se denomina la tensión inferior como tensión intermedia.

/Cuadro 2

Cuadro 2

VALORES DE ORIENTACION PARA LOS DIAMETROS MINIMOS Y LA IMPEDANCIA CARACTERISTICA DE LINEAS MULTIFILARES

Tensión máxima de servicio U_m en kV	Línea simple o doble	Distancia media entre conductores en m	Diámetro mínimo a/ en mm según número de conductores parciales				Impedancia característica Z en Ohmios por sistema y número de los conductores parciales			
			1	2	3	4	1	2	3	4
170	S	7	19 - 21	---	---	---	390	---	---	---
	D	5	19 - 21	---	---	---	375	---	---	---
245	S	9	28 - 30 19 - 21	---	---	---	385	295	---	---
	D	6	28 - 30 20 - 22	---	---	---	360	270	---	---
300	S	11	35 - 37 24 - 26	18 - 19	---	---	385	300	270	---
	D	7	35 - 37 25 - 27	19 - 20	---	---	355	270	245	---
420	S	14	51 - 53 34 - 36	25 - 27	20 - 22	---	375	305	280	260
	D	9	51 - 53 35 - 37	27 - 29	21 - 23	---	345	275	250	230
525 ^{b/}	S	16	---	44 - 46	33 - 35	26 - 28	---	305	280	260
	D	10	---	45 - 47	34 - 36	27 - 29	---	275	250	235

a/ Intensidad media del campo marginal, línea simple $E_{ef} = 15$ kV/cm : línea doble $E_{ef} = 16$ kV/cm.

b/ Aún no fijada por el IEC.

Cuadro 3

DATOS ELECTRICOS CARACTERISTICOS PARA LINEAS SIMPLES, QUE SE HAN TOMADO COMO BASE PARA EL CALCULO DE LOS COSTOS

Tensión de servicio máxima admisible en kV	Número y diámetro de los conductores en mm	Sección de aluminio en mm ²	Resistencia a 60° C Ohmios/km	Impedancia característica Z Ohmios	Intensidad natural J _{nat} en A	Potencia natural J _{nat} en MW	Potencia limitada térmicamente P _{term} en MW	Costos de la línea por km %
123	1 x 19.2	184	0.180	390	170	35	85	100
245	1 x 28.1	341	0.097	390	343	140	250	175
420	2 x 32.8	2 x 564	0.029	310	750	520	1 200	320

Cuadro 4

DIRECTIVAS DEL IEC PARA LA COORDINACION DE LOS AISLAMIENTOS ^{a/}

Tensión de servicio máxima admisible U_m en kV	Coeficiente de puesta a tierra	$U_{e(m)}$ ^{b/} en kV	Aislamiento total o reducido	Tensión de choque máxima admisible con onda completa		Tensión alterna máxima admisible (valor efectivo)		Trayectos mínimos de aire en mm
				hacia tierra y entre los conductores kV	trayecto de separación de seccionadores en kV	hacia tierra y entre los conductores en kV	trayecto de separación de seccionadores en kV	
123	0.8	98	123r	450	520	185	250	920
	1.0	123	123f	550	630	230	310	1 150
145	0.8	116	145r	550	630	230	310	1 150
	1.0	145	145f	650	750	275	370	1 380
170	0.8	136	170r	650	750	275	370	1 380
	1.0	170	170f	750	860	325	440	1 620
245	0.8	196	170r	900	1 035	395	535	1 960
	1.0	245	170f	1 050	1 210	460	620	2 300
300	0.8	240	300r	1 050	1 210	460	620	2 300
420	0.8	336	420r	1 425	---	630	---	3 050

a/ Según publicación 71/2, edición 1958.

b/ $U_{e(m)}$ = Tensión máxima a la frecuencia de servicio contra tierra en caso de una falla.

c/ Valores propuestos.

LEYENDAS DE LOS GRÁFICOS

Gráfico I: Costes de los componentes de una red en dependencia de la tensión 3 - 35 kV

K ₁	costes de las líneas aéreas
K ₂	costes de los cables (sin gastos de tendido)
K ₃	costes de los transformadores
K ₄	costes de los puestos de transformación
K ₅	costes de los equipos de distribución y mando
K ₆	distribución de los costes de una red de 20 kV
U	tensión
G	cable de una sola envoltura
D	cable de tres envolturas
M	puesto transformador de poste
S	puesto de transformación en caja blindada de chapa de acero
N _a	potencia de desconexión de los interruptores automáticos
R	red rural de líneas aéreas; densidad de carga: 10 kVA/km ² ; radio de la zona: 20 km
T	red urbana de cables; densidad de carga: 2 MVA/km ² ; radio de la zona: 2 km
A	equipos de distribución y mando
B ₁	cables
B ₂	líneas aéreas
C	puestos de transformación de la red

Gráfico II: Potencia económica de transmisión para cables y líneas aéreas de diferentes secciones

P	potencia de transmisión
q	sección del conductor
F	línea aérea con conductores de acero y aluminio
C	cable con conductores de cobre

/Gráfico III

Gráfico III: Distancia máxima admisible de transmisión para cables y líneas aéreas con la potencia económica y una diferencia de tensión de 5 % (cable) y 8 % (línea aérea)

d distancia de transmisión
 U tensión
 F línea aérea
 C cable

Gráfico IV: Costes específicos de redes de cables de tensión media con tensiones de 10 - 30 kV y diferentes radios de las zonas de la red

K/P costes específicos (costes por unidad de potencia)
 U tensión de distribución
 R radio de la zona
 T estación transformadora
 C cable 10 ... 30 kV
 N puesto de transformación

Gráfico V: Costes específicos de redes de líneas aéreas de tensión media con tensiones de 10 - 30 kV y diferentes radios de la zona de la red

K/P costes específicos (costes por unidad de potencia)
 U tensión de distribución
 R radio de la zona
 T estación transformadora
 F línea aérea de 10 ... 30 kV
 N puesto de transformación

/Gráfico VI

Gráfico VI: Costes específicos de transmisión de alta tensión de diferentes tensiones y distancias en función de la potencia de transmisión

	a) para líneas aéreas simples
	b) para cables
K/P	costes específicos (costes por unidad de potencia)
P	potencia de transmisión
U_w	tensión económica
d	distancia de transmisión
F	línea aérea
C	cable

Gráfico VII: Costes de los componentes de una red en función de la tensión
30 ... 150 kV

P	potencia de transmisión
K	costes
K	costes de los equipos de distribución y mando
K_2	costes de los cables
K_3	costes de los transformadores
K_4	costes de las líneas aéreas
N_a	potencia de desconexión de los interruptores automáticos
U	tensión

Gráfico VIII: Potencia natural de líneas aéreas para corriente trifásica, con conductores simples y conductores entrelazados

U_m	tensión de servicio máxima admisible
P_{nat}	potencia natural
A	línea simple
B	línea doble
1, 2, 3, 4	número de los conductores parciales de un haz

/Gráfico IX

Gráfico IX: Gama de las tensiones económicas en función de la potencia y la distancia de transmisión

P	potencia de transmisión de cada sistema
d	distancia de transmisión
U_m	tensión de servicio máxima admisible

Gráfico X: Gastos anuales de transmisión en función de la potencia y la distancia de transmisión

P	potencia de transmisión de cada sistema
K	gastos anuales de transmisión

Gráfico XI: Densidad de corriente económica de líneas aéreas de 245 kV con conductores de acero y aluminio, en función del grado de carga y del precio de trabajo del kWh

m	grado de carga
j_w	densidad de corriente económica
b	precio de trabajo del kWh

Gráfico XII: Resumen de los costes de líneas aéreas de alta tensión

K	costes (costes totales = 100 %)
U	tensión nominal de la línea
A	costes para el montaje de los postes y el tendido de la línea
B	costes de los fundamentos
C	costes de los postes
D	costes de los aisladores y accesorios
E	costes de los conductores

Gráfico XIII: Distancias óptimas de los postes de líneas aéreas

K	costes totales de la línea aérea
S_m	separación media de los postes
B	postes de hormigón
G	postes de celosía, de acero
N	subsuelo normal
S	embudo malo

FIGURE 1
GRAFICO 1

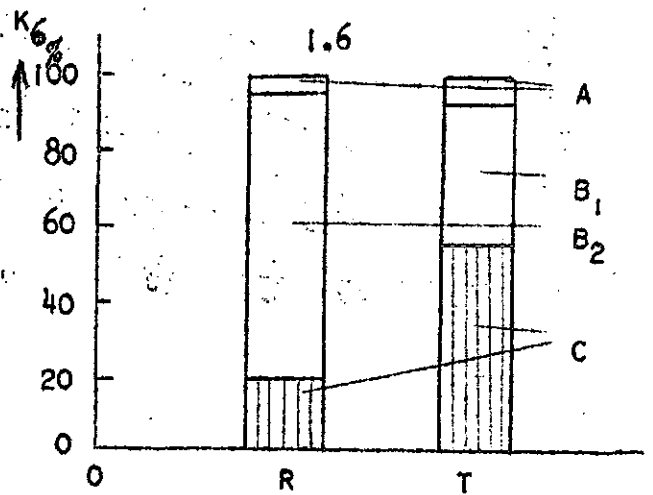
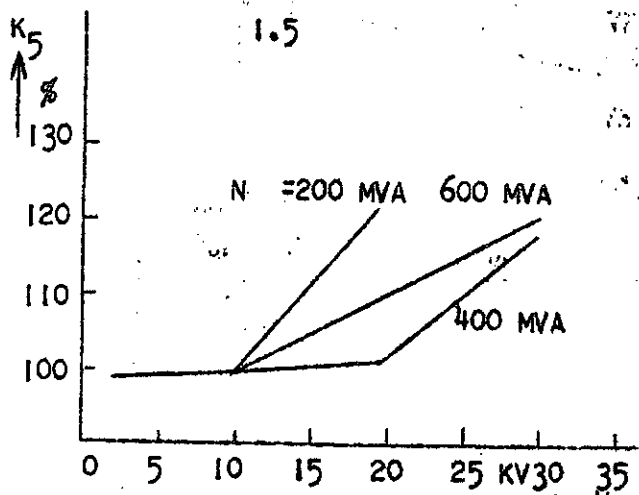
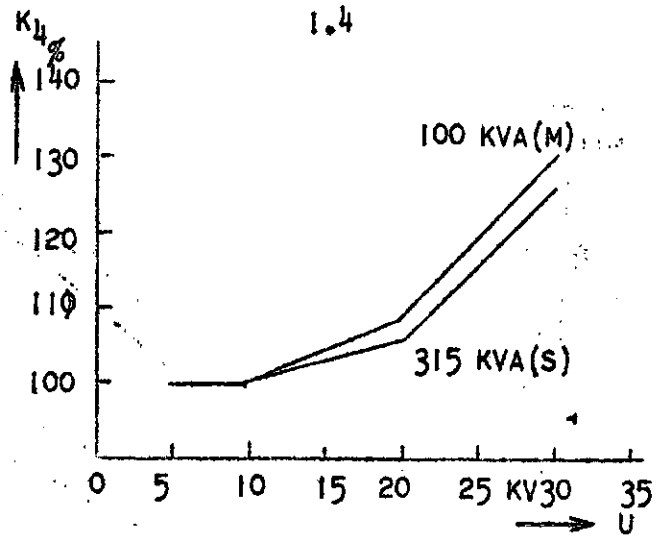
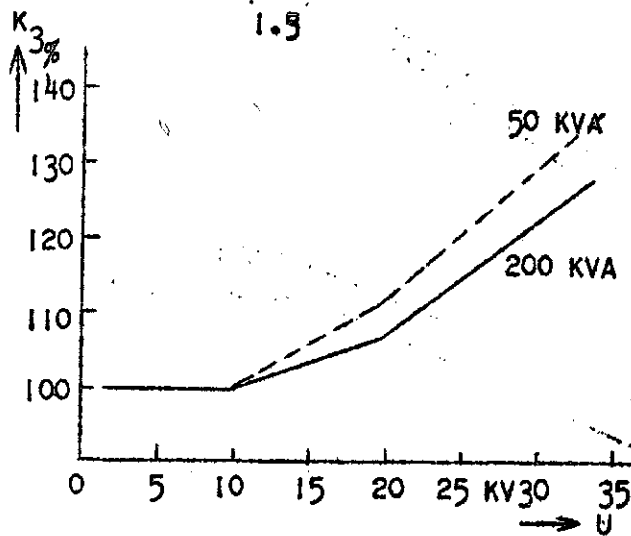
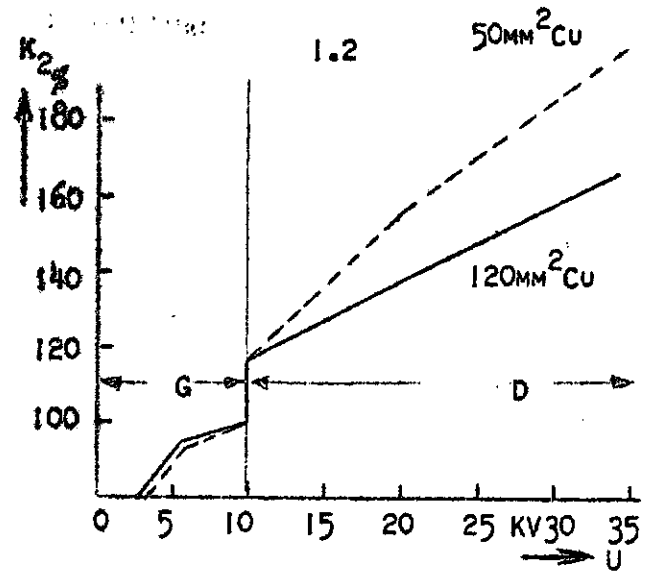
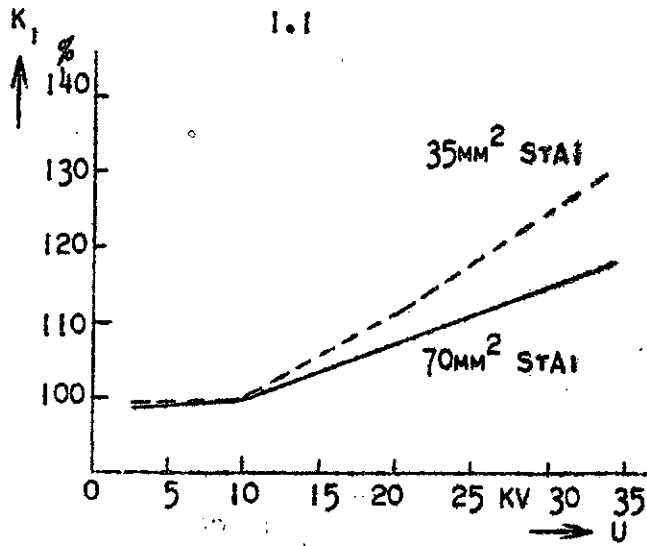


FIGURE II
GRAFICO II

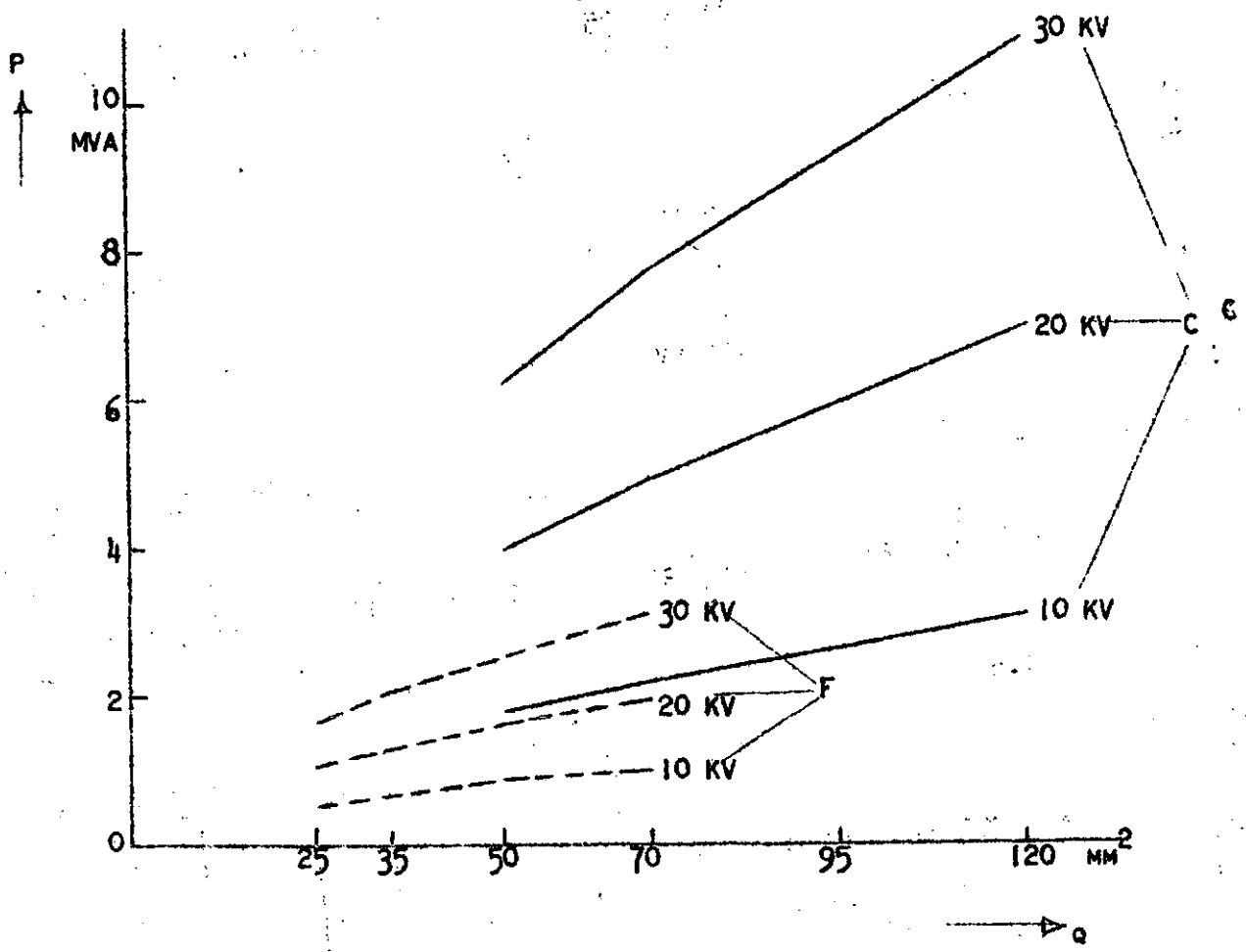


FIGURE III
GRAFICO III

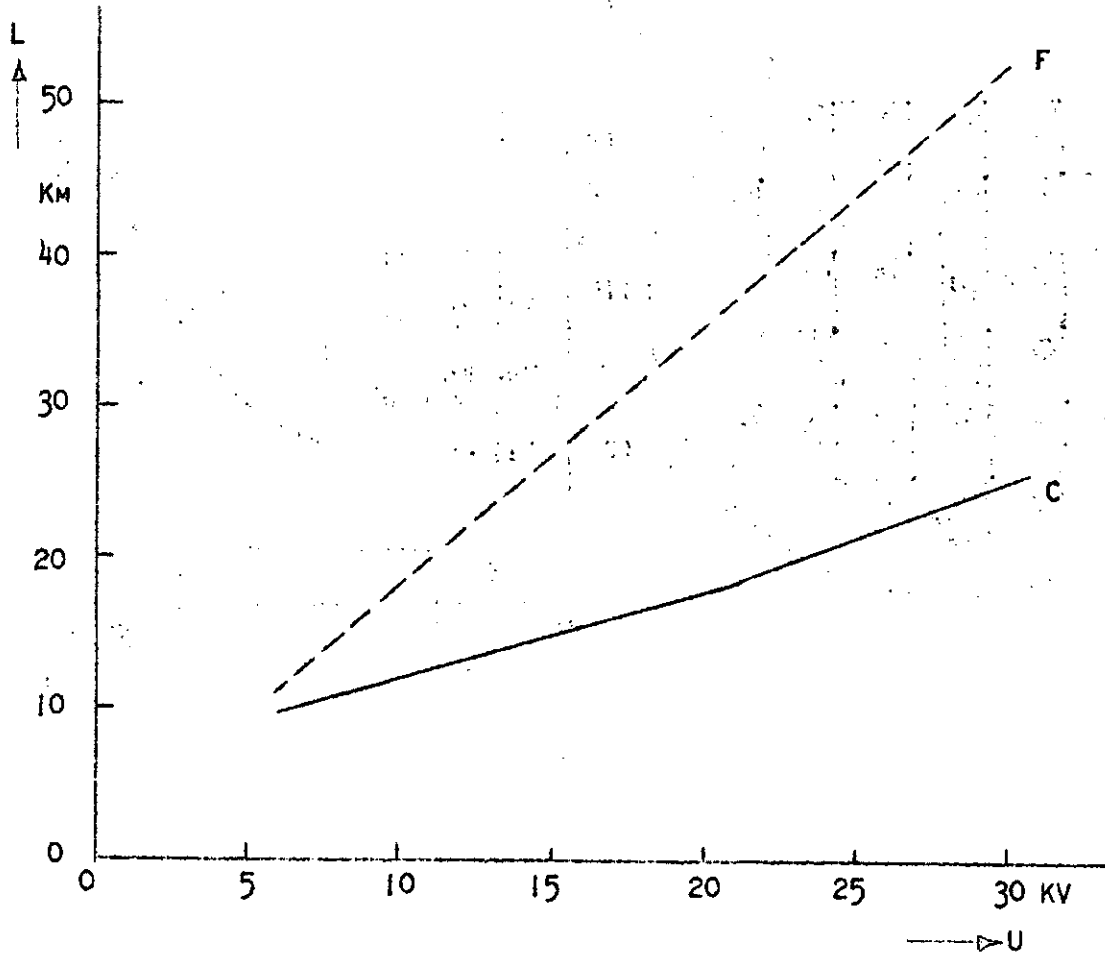


FIGURE IV
GRAFICO IV

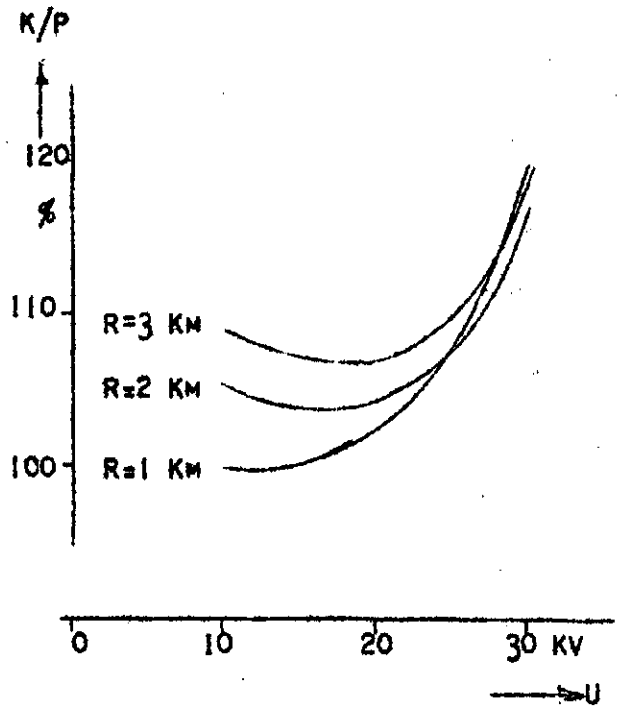
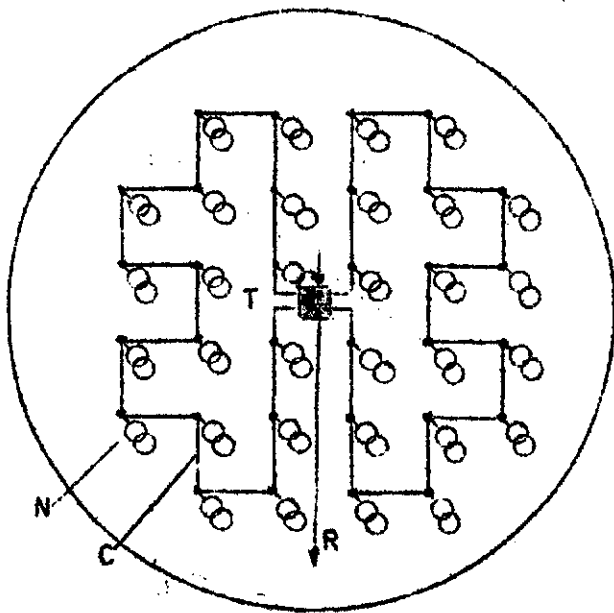


FIGURE V

GRAFICO V

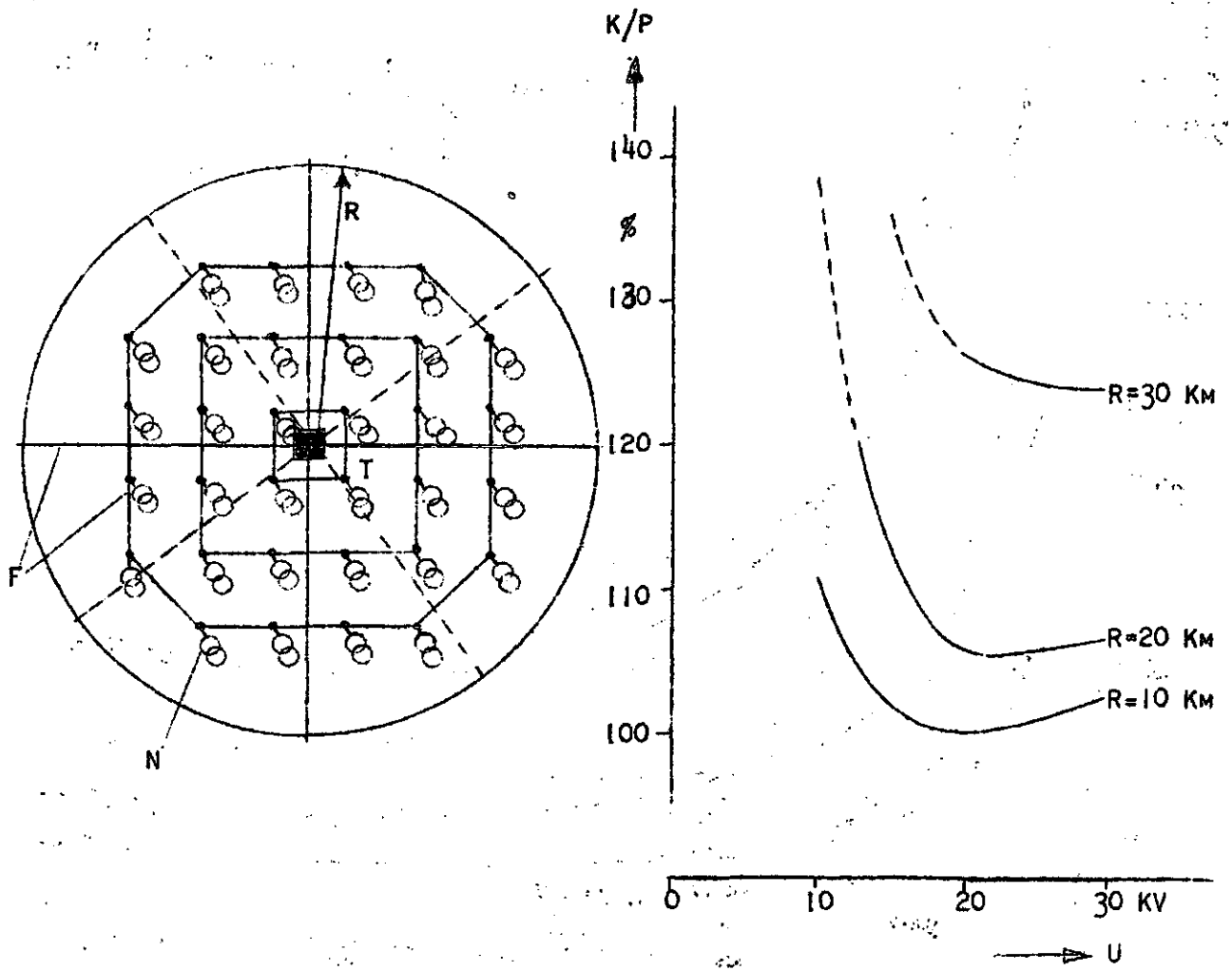


FIGURE VI A
 GRAFICO VI A

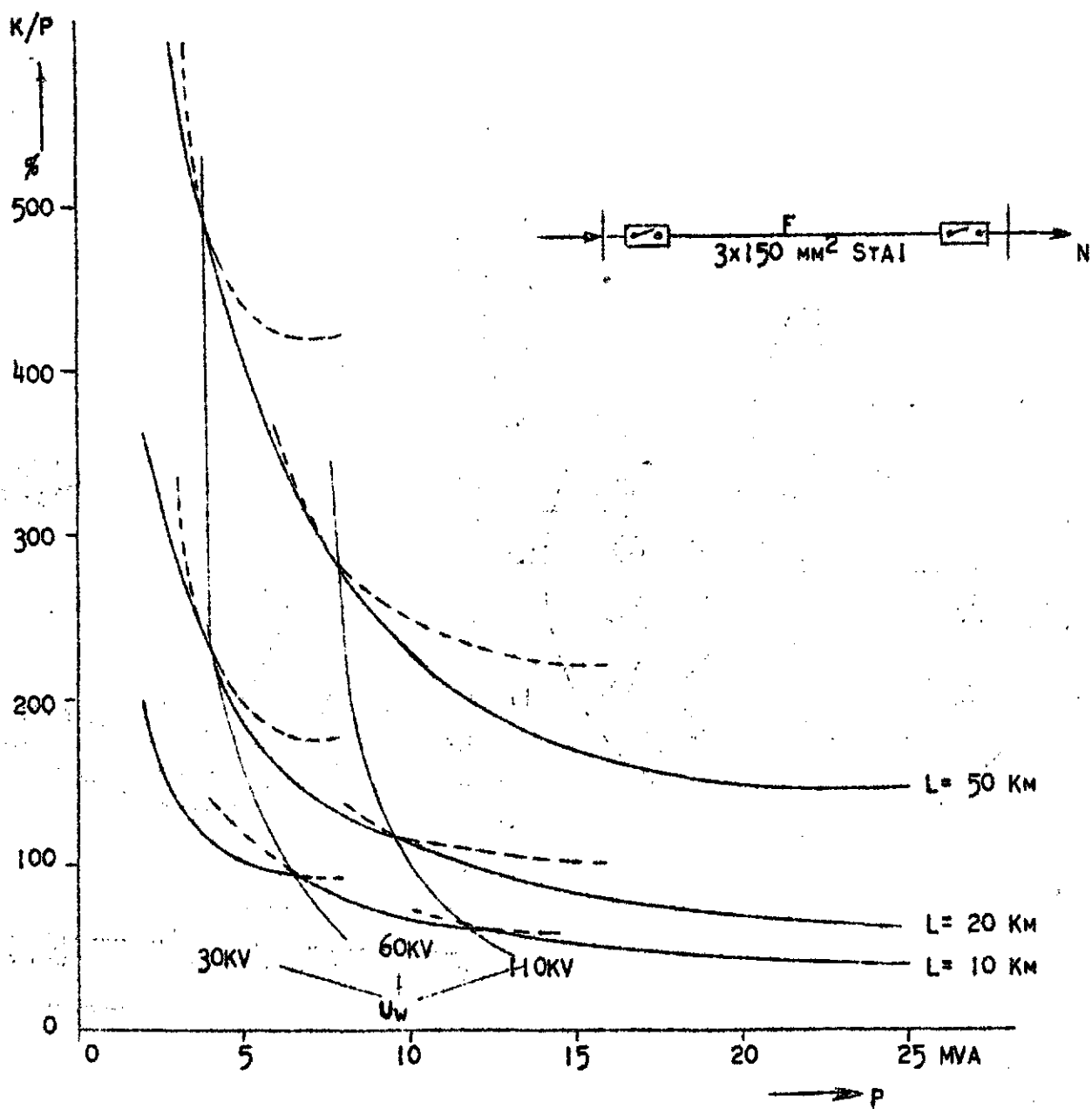
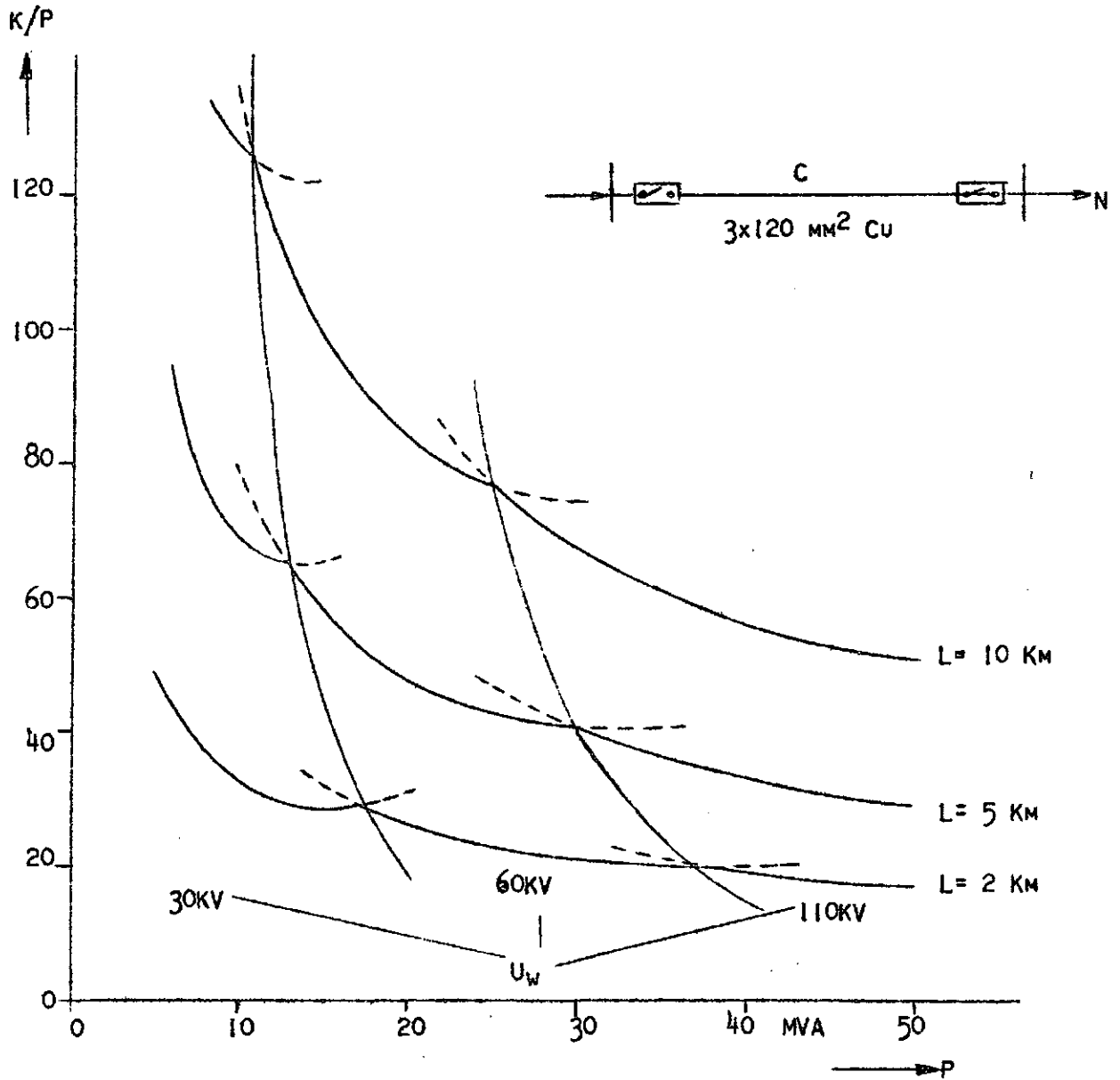


FIGURE VI B
 GRAFICO VI B



1950

1951



FIGURE VII

GRAFICO VII

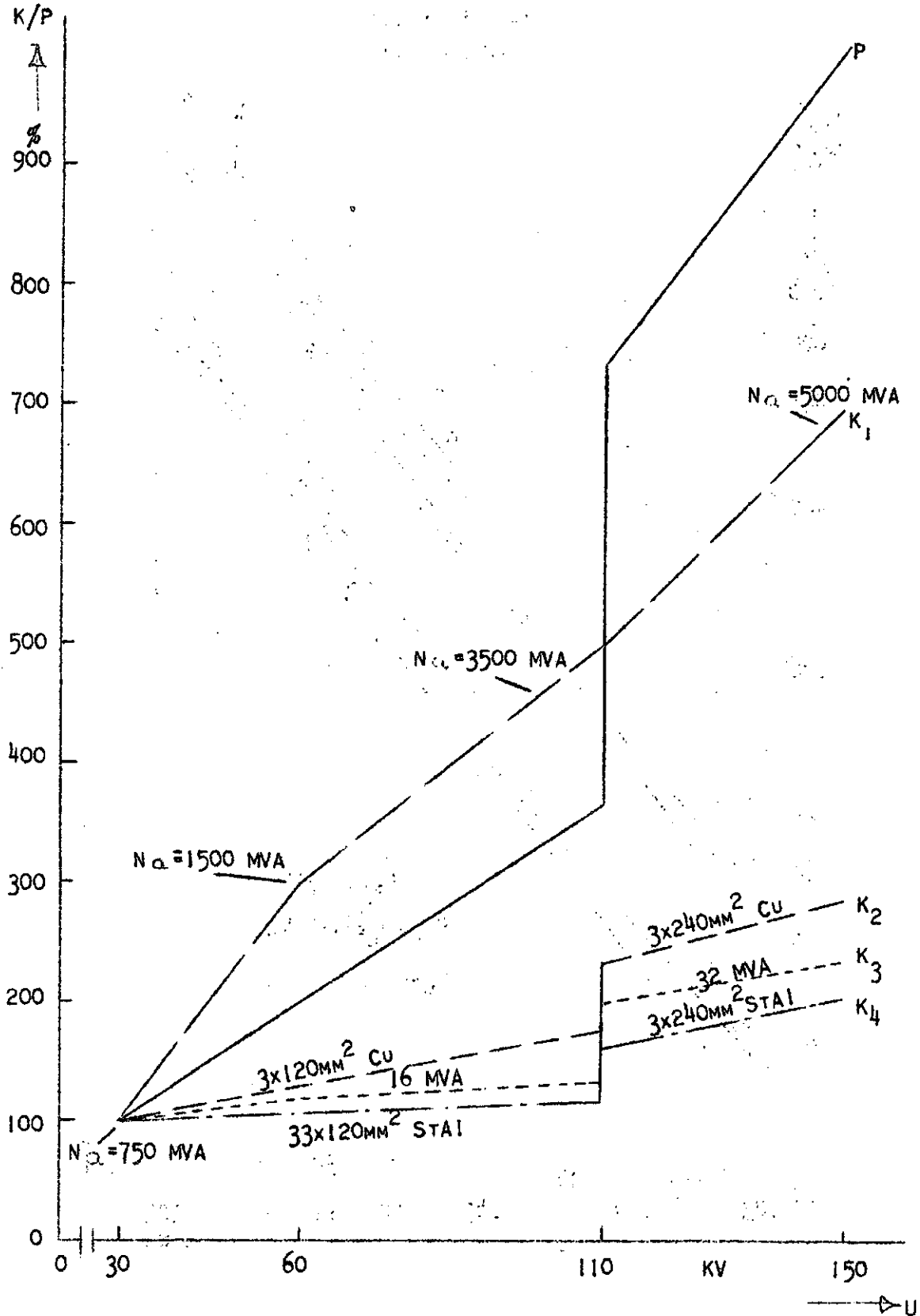


FIGURE VIII

GRAFICO VIII

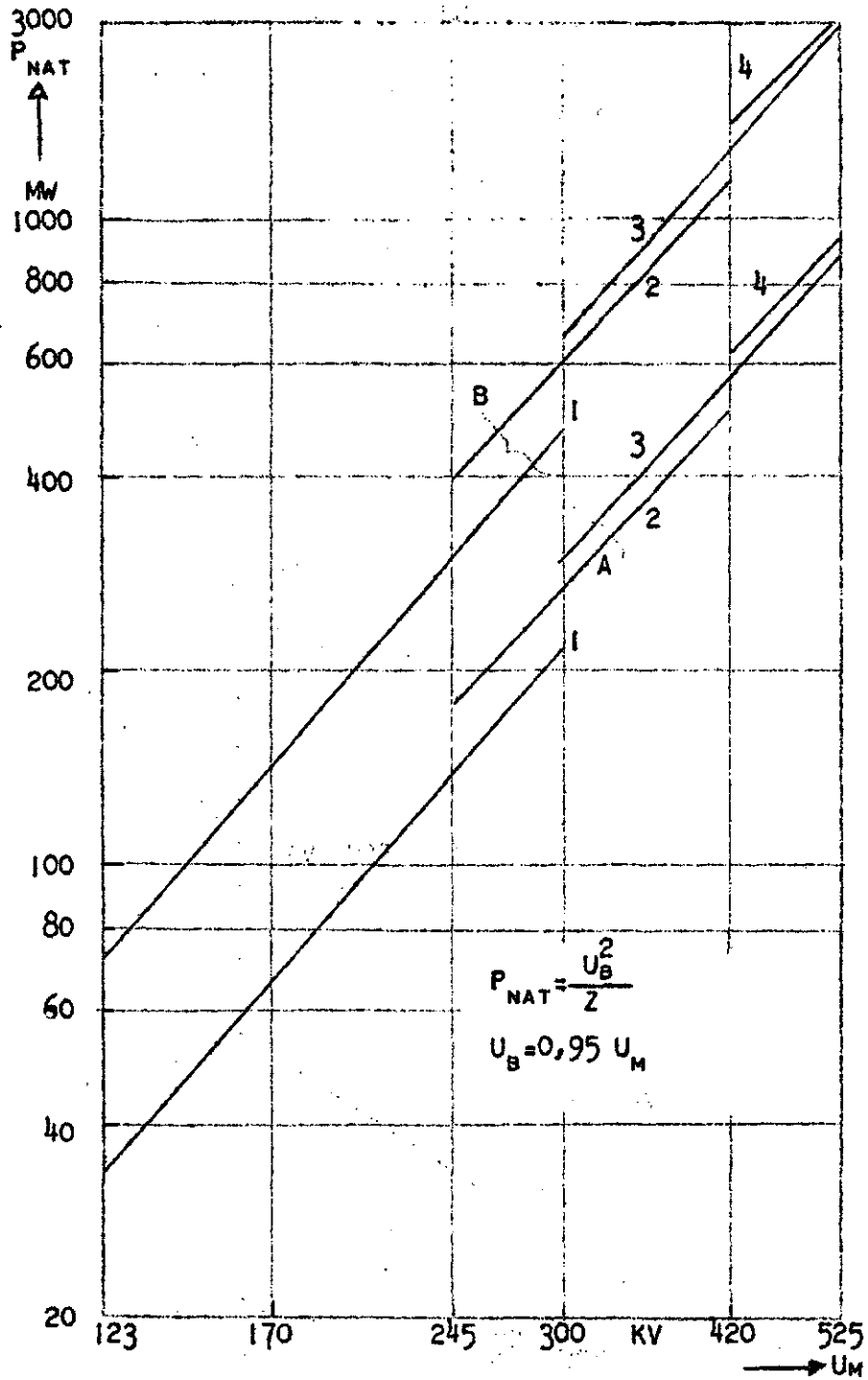


FIGURE IX
GRAFICO IX

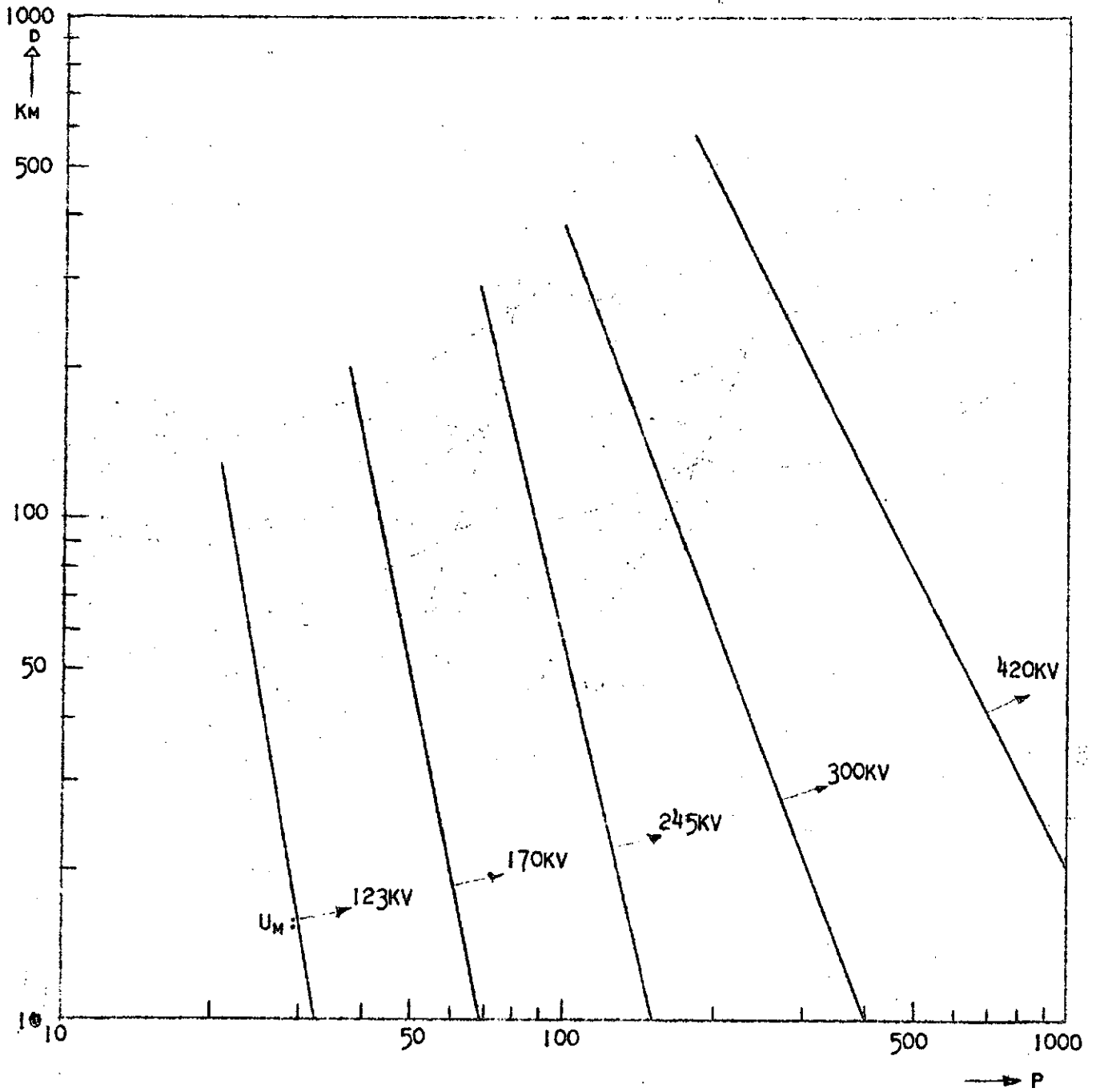


FIGURE X
GRAFICO X

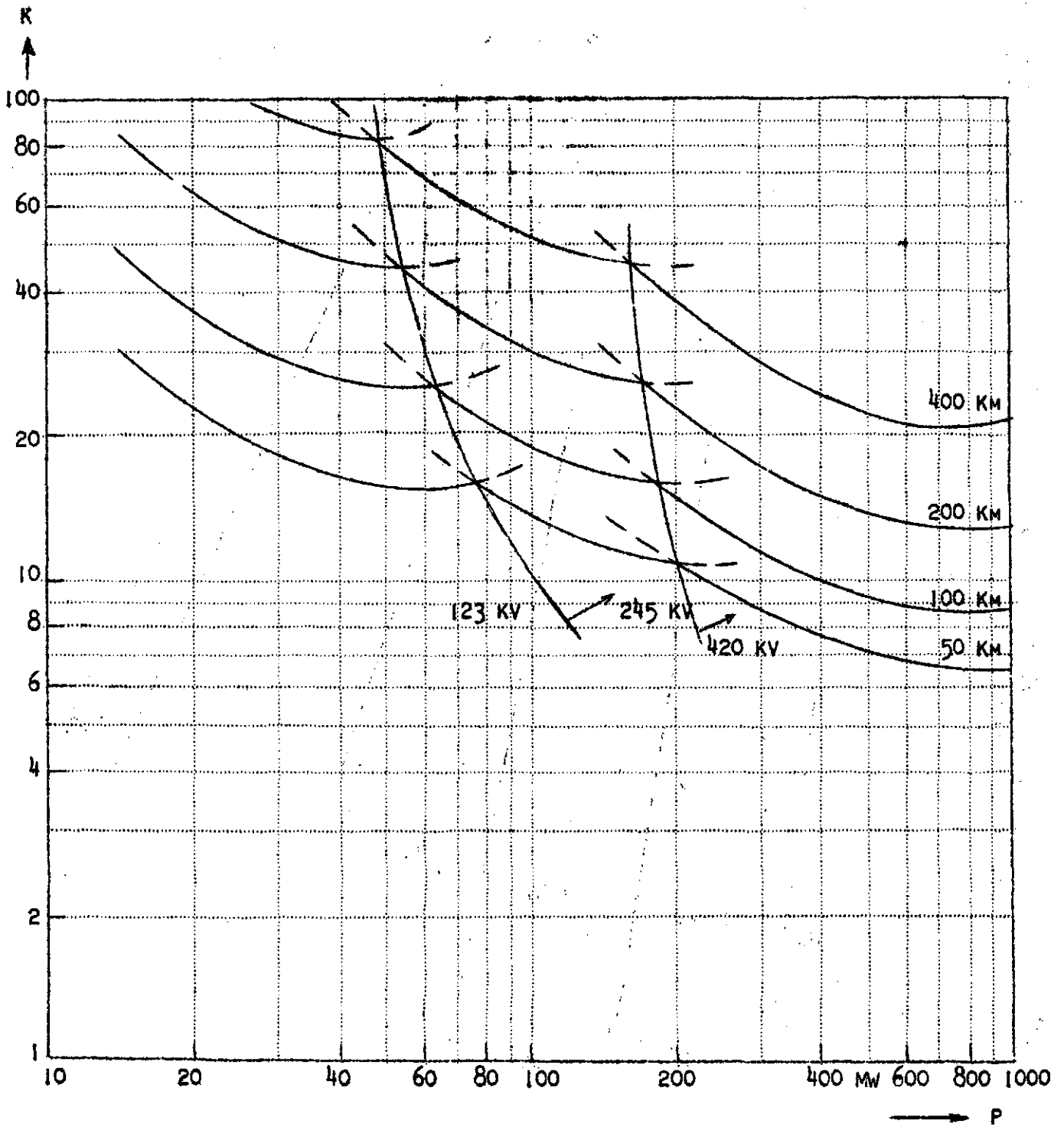


FIGURE XI
GRAFICO XI

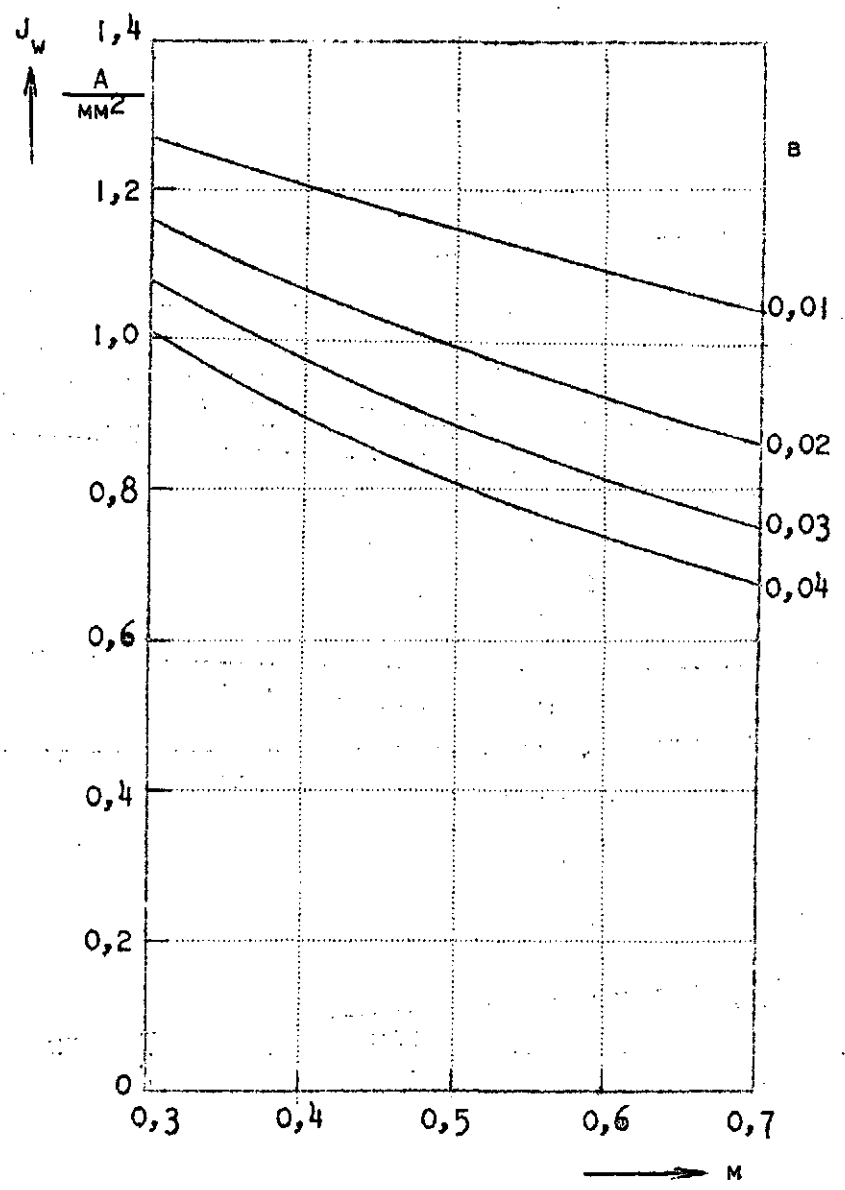


FIGURE XII

GRAFICO XII

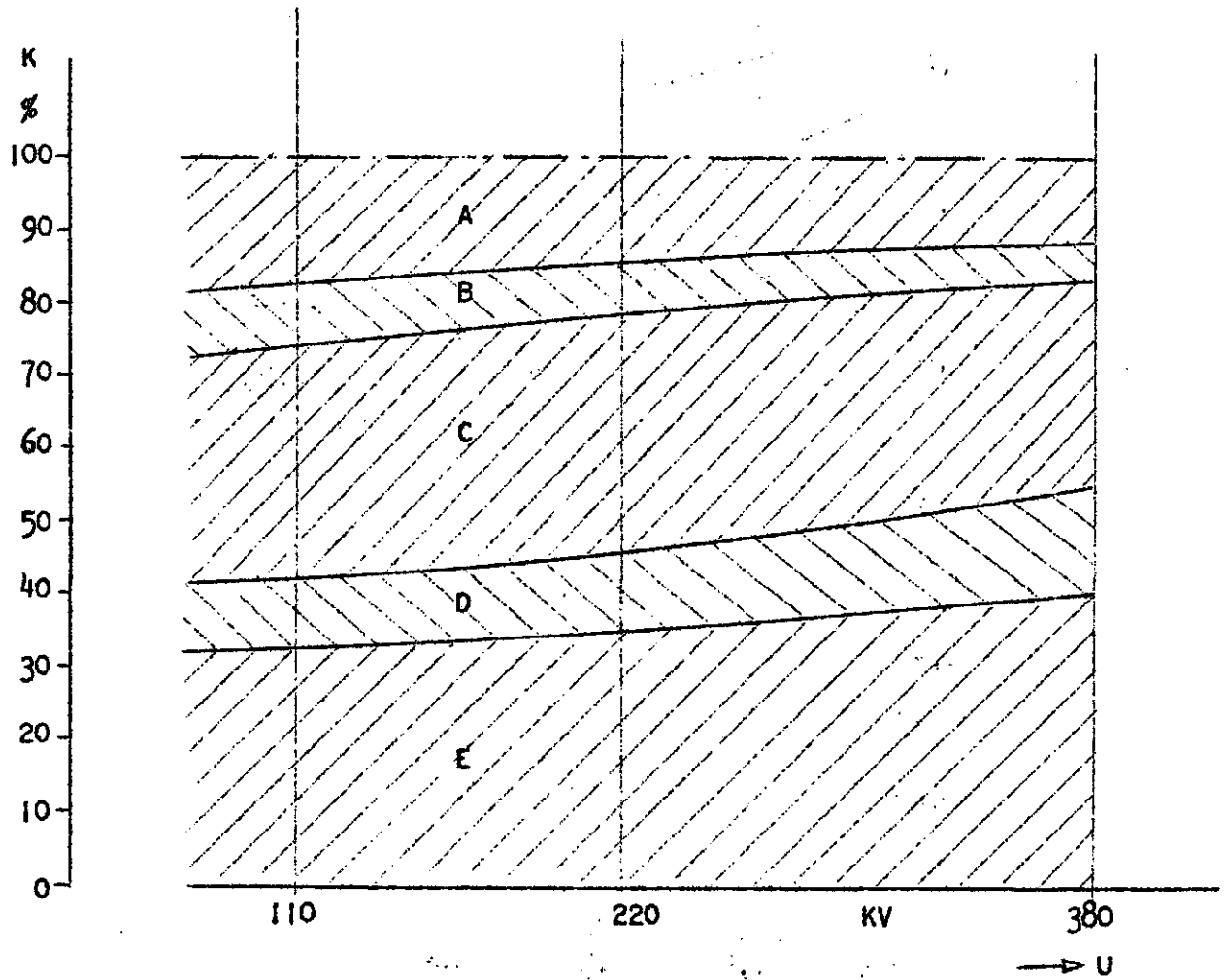
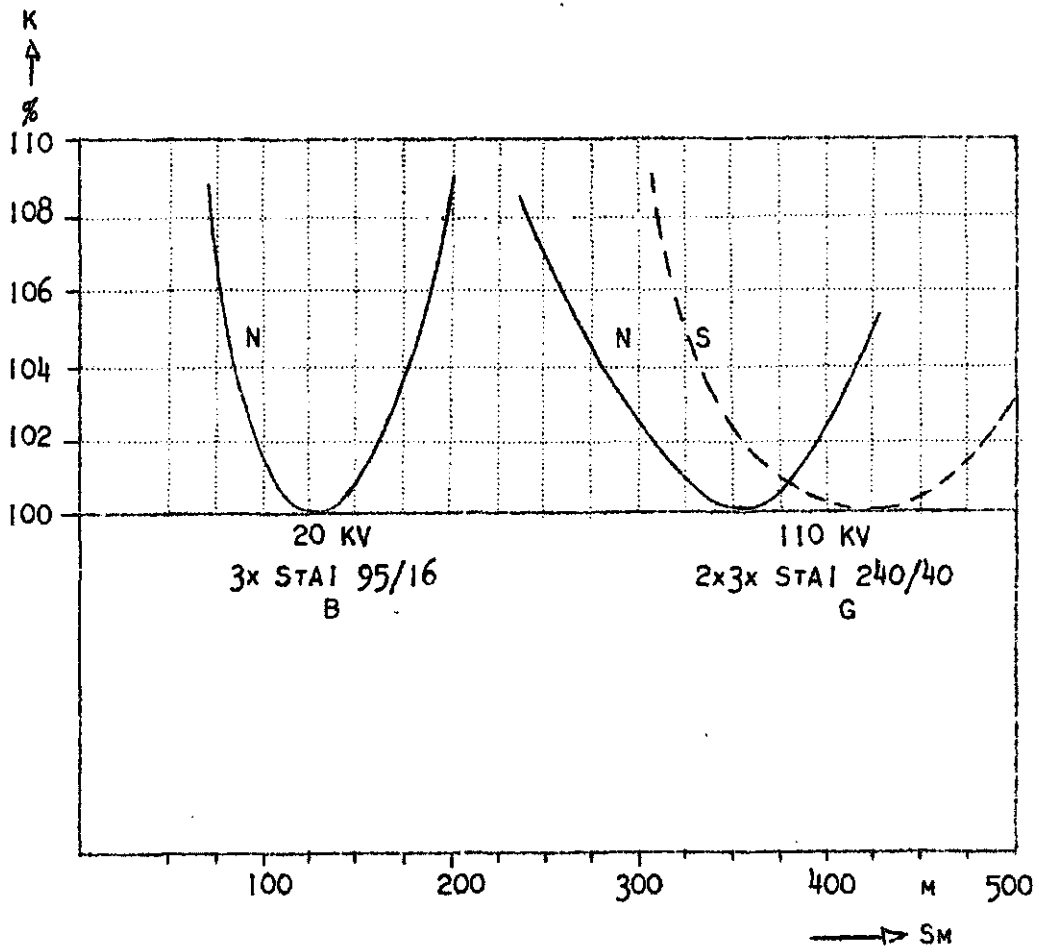


FIGURE XIII
GRAFICO XIII



1. Introduction

2. Methodology

3. Results

4. Discussion