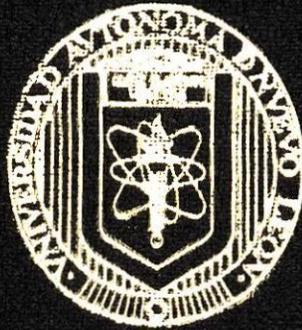


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA



DISEÑO DE UNA SUBESTACION ELECTRICA
Y SU MANTENIMIENTO

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTA

JAVIER MAGALLON QUINTANILLA

CD. UNIVERSITARIA

AGOSTO DE 1996

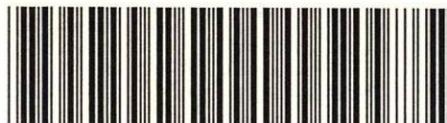
T

TK17

M34

1996

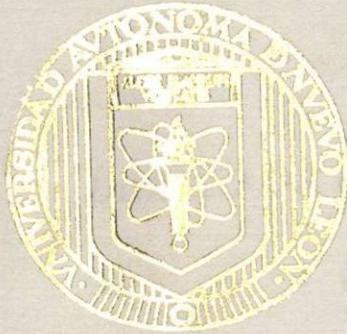
c.1



1080096972

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA



DISEÑO DE UNA SUBESTACION ELECTRICA
Y SU MANTENIMIENTO

TESINA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

JAVIER MAGALLON QUINTANILLA
PRESENTA
JAVIER MAGALLON QUINTANILLA

CD. UNIVERSITARIA

AGOSTO DE 1996

T
TK1751
M34
1996



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN.

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

*DISEÑO DE UNA SUBESTACION ELÉCTRICA
Y SU MANTENIMIENTO.*

TESINA

*QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA*

PRESENTA

JAVIER MAGALLON QUINTANILLA

INTRODUCCIÓN

FINALIDAD DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

La civilización moderna, en esta época en que vivimos, tiene una gran cantidad de necesidades, y a cada momento se están creando aun mas; para la satisfacción de dichas necesidades, es indispensable la energía eléctrica, ya sea formada directa por medio de tomas de corriente en los hogares o indirectamente para la elaboración de algunos productos en las industrias establecidas. Es muy raro encontrar un objeto en cuya elaboración no haya tenido nada que ver la electricidad. Debido a esto, la demanda de energía eléctrica crece enormemente con el aumento de la población con el desarrollo de un pueblo en el caso particular de México, la instalación de nuevas plantas generadoras es un hecho y se trabaja sobre eso las 24 horas del día; la distribución de la energía producida también se esta extendiendo rápidamente en el campo, a las industrias y a los servicios públicos y urbanísticos que demandan las grandes ciudades.

SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Una subestación eléctrica es un conjunto de maquinas, aparatos y circuitos que tienen la función de modificar los parámetros de la potencia eléctrica (tensión y corriente) y de proveer un medio de interconexión y despacho entre las diferentes líneas de un sistema.

TIPOS DE SUBESTACIONES

Desde el punto de vista de la función que desempeñan las subestaciones se pueden clasificar como sigue:

Subestaciones en las plantas generadoras o centrales eléctricas.

Estas se encuentran adyacentes a las centrales eléctricas o plantas generadoras de electricidad para modificar los parámetros de la potencia suministrada por los generadores para permitir la transformación en la alta tensión en las líneas de transmisión a este respecto se puede mencionar que los generadores pueden suministrar la potencia entre 5 y 25 KV y la transmisión dependiendo del volumen de energía y la distancia se puede efectuar a 69, 85, 115, 138, 230, o 400 KV, en algunos países se emplean tensiones de transmisión de 765, 800 y hasta 1200 KV en C.A.

Subestaciones receptoras primarias.

Estas son alimentadas directamente de las líneas de transmisión y reducen la tensión a valores menores para la alimentación de los sistemas de subtransmisión o las redes de distribución, de manera que dependiendo de la tensión de transmisión puede tener en su secundario tensiones del orden de 115,69 y eventualmente 34.5, 13.2, 6.9, o 4.16 KV.

Subestaciones receptoras secundarias

Estas son por lo general alimentadas de las redes de subtransmisión y suministran la energía eléctrica a las redes de distribución a tensiones comprendidas entre 34.5 y 6.9 KV.

ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Los elementos que constituyen una subestación se pueden clasificar en elementos principales y elementos secundarios.

Elementos principales:

- a) Transformador
- b) Interruptor de potencia
- c) Restaurador
- d) Cuchilla fusible
- e) Cuchilla desconectadora y cuchilla de prueba
- f) Apartarrayos
- g) Tablero de control
- h) Condensadores
- i) Transformadores instrumento

Elementos secundarios:

- a) Cables de potencia
- b) Cables de control
- c) Alumbrado
- d) Estructura
- e) Herrajes
- f) Equipo contra incendio
- g) Equipo de filtrado
- h) Sistema de tierras
- i) Carrier
- j) Cerca

EL TRANSFORMADOR

Es la parte más importante de una subestación eléctrica ya sea por la función que representa de transferir la energía eléctrica en un circuito a otro que son por lo general de diferente tensión y solo están acoplados magnéticamente. Este dispositivo convierte la energía eléctrica alterna en cierto nivel de voltaje, en energía eléctrica alterna de otro nivel de voltaje, por medio de la acción de un campo magnético. Esta constituido por dos o mas bobinas de alambre aislados entre si eléctricamente por lo general y arrollados alrededor de un mismo núcleo de material ferromagnético. La única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético común que se establece en el núcleo.

TIPOS DE TRANSFORMADORES

Los transformadores desde el punto de vista del medio refrigerante se pueden dividir en dos grupos:

- Transformadores con aislamiento en seco
- Transformadores con aislamiento en aceite

Los transformadores en seco tienen su parte activa en contacto directo con un medio aislante gaseoso (por lo general aire) o bien con un medio aislante sólido como por ejemplo resinas, materiales plásticos, etc. Estas por lo general se construyen para potencias hasta de algunos KVA y con tensiones que normalmente no exceden a la clase de 15 KV por lo que su empleo es reducido casi los servicios auxiliares de algunas otras instalaciones o como parte integrante de las instalaciones secundarias industriales o comerciales.

Los transformadores de aceite tienen en cambio su parte activa sumergida en aceite mineral (derivados de petróleo) por lo que estas maquinas de hecho no se tienen limitaciones ni la potencia ni las tensiones ya que es común encontrar transformadores hasta de 400 MVA y con tensiones del orden de 500 KV y en algunos casos como valores superiores de potencia y de tensión como los usados en las redes eléctricas de USA, Rusia, Canadá, solo por mencionar algunos casos.

Transformadores de tipo seco

- Con enfriamiento de aire natural.
- Con circulación forzada del aire en el exterior por medio de ventiladores.
- Con circulación de aire en el núcleo y los devanados.

Transformadores de tipo en aceite

- Circulación natural del aceite y el aire (tipo OA).
- Circulación natural del aceite y aire auxiliado por la circulación forzada del aire con ventiladores en los tubos radiadores.
- Circulación forzada de aceite y circulación natural de aire.
- Circulación forzada de aceite y circulación forzada de aire.
- Circulación forzada de aceite y circulación forzada de agua por medios externos.
- Circulación forzada del agua.

Transformadores de potencia

Los transformadores de potencia se fabrican de dos tipos de núcleo. El primero de ellos consiste en una pieza rectangular de acero laminado, con los devanados arrollados alrededor de los dos lados del rectángulo. A los transformadores de potencia suele dárseles una variedad de nombres diferentes, dependiendo de la función que cumple el sistema de potencia. Un transformador conectado a la salida de un generador y destinado a elevar el voltaje a niveles de transformación (superior a 110 KV), algunas veces se le denomina transformador de unidad. Al transformador del otro extremo de la línea de transmisión, destinado a reducir el voltaje de transmisión hasta niveles de distribución (entre 2.3 KV y 34.5 KV.), se le conoce como transformador de subestación. Finalmente, al transformador que toma el voltaje de distribución y lo reduce hasta los valores reales de utilización (110 V, 208 V, 220 V, etc.) es llamado transformador de distribución. Todos estos dispositivos, son en esencia los mismos; la única diferencia entre ellos es su utilización específica.

Las principales partes que constituyen un transformador de potencia son el núcleo magnético, los devanados, el conmutador o cambiador de derivaciones (en vacío o baja carga), el tanque, los dispositivos de enfriamiento, las boquillas así como otros accesorios (ruedas de rolar, ganchos de sujeción, etc.).

Transformadores de potencial

Los llamados transformadores de potencial se emplean para medición y/o protección; su nombre se debe a que la cantidad principal para variar es la tensión o sea que permite reducir un voltaje de un valor que puede ser muy alto o un valor utilizado por los instrumentos de medición o protección (generalmente 127 V).

El transformador de potencial, es un transformador devanado especialmente con su primario de alto voltaje y un secundario de baja tensión. Su potencia nominal es muy pequeña y su único propósito es de entregar una muestra de voltaje del sistema a los instrumentos de medición. Como su finalidad principal es el muestreo de la medición (tensión), debe ser muy preciso para que no distorsione los valores verdaderos.

Transformadores de corriente

El transformador de corriente toma la muestra de corriente de una línea y la reduce a un nivel de magnitud seguro y medible. Consiste en un devanado secundario arrollado sobre un anillo de material ferromagnético y por cuyo centro atraviesa la línea primaria. El anillo conecta igual una pequeña muestra del flujo de la línea primaria, el cual induce un voltaje y una corriente en el arrollamiento secundario. Los valores nominales de estos transformadores se expresan en la forma de relación entre la corriente primaria y secundaria, algunos de estos valores típicos pueden ser de 600:5, 800:5, 1000:5, la corriente nominal secundaria es por lo general de 5 amp. según normas.

Es muy importante mantener cortocircuitado el transformador de corriente, puesto que al secundario al dejarlo abierto se origina en él altos voltajes. Por ello la mayoría de los relevadores y demás equipos que reciben señal de transformadores tienen un dispositivo que no permiten la remoción del aparato a menos que se ponga en corto el transformador de corriente.

TIPO DE CONEXIONES EN TRANSFORMADORES

Para seleccionar es necesario conocer las ventajas y desventajas de cada una de las conexiones más utilizadas. dichas conexiones son:

Estrella - Estrella. Esta conexión se emplea en tensiones muy elevadas y sus características son:

- Aislamiento mínimo.
- Cantidad de cobre mínimo.
- Circuito económico para bajar carga y alto voltaje.
- Los dos neutros son accesibles.
- Alta capacitancia entre espiras, que reduce los efectos dieléctricos durante los transitorios debidos a la tensión.
- Neutros inestables, si no se conectan a tierra.

Estrella - Delta. Se utiliza en los sistemas de transmisión de las subestaciones receptoras cuya función es reducir el voltaje empleado en algunas ocasiones para distribución rural a 20 KV.

Delta - Delta. Se utiliza comúnmente en lugares donde existen tensiones relativamente bajas, en sistemas de distribución se utiliza para alimentar cargas trifásicas a tres hilos. Sus características son:

- Se pueden conectar los devanados primarios y secundarios sin desfaseamiento.
- No tiene hilo de retorno a la corriente de secuencia cero.

Delta - Estrella Esta conexión se emplea en aquellos sistemas de transmisión en que es necesario elevar voltajes de generación, en sistemas de distribución conviene porque se puede tener dos voltajes diferentes entre fase y neutro.

Delta abierta - Delta abierta. Esta puede considerarse como una conexión de emergencia en transformadores trifásicos, ya que si en un transformador se quema o sufre una avería cualquiera de sus fases, se puede seguir alimentando carga trifásica operando el transformador a dos fases, solo que su capacidad disminuya a un 58 % aproximadamente. Estos transformadores usualmente operan como autotransformadores.

PRUEBA A LOS TRANSFORMADORES

Para transformadores que han sido almacenados por largos periodos de tiempo es recomendable verificar los siguientes puntos:

1. *Inspección del aparato.* Se debe verificar el cumplimiento de todas las normas y especificaciones.
2. *No debe haber continuidad entre los devanados de alta, baja tensión y tierra.*
3. *No debe existir fuga de aceite.*
4. *Debe tener el nivel de aceite correcto y a una temperatura de 25 °C y verificar la rigidez dieléctrica y la acidez.*

5. *Resistencia de aislamiento.* La medición se efectúa en tres pasos, primero se mide la resistencia de los devanados de alta y baja tensión, después entre alta tensión y tierra y finalmente entre baja tensión y tierra.
6. *Relación de transformación.* Se efectúa para determinar que las bobinas han sido fabricadas de acuerdo al diseño y con el número de vueltas exacto.
7. *Conexiones.* Los transformadores se embarcaran con las conexiones internas de acuerdo a lo especificado en las normas o en su defecto a lo especificado por el cliente.
8. *Placa de datos.* El transformador se identifica mediante la placa de características, por lo que resulta indispensable conocerla antes de conectar el aparato.
9. *Sistema de tierras.* Los transformadores deben estar conectados permanentemente a tierra, para evitar tensiones inducidas peligrosas. Los sistemas de tierra deben ser de acuerdo a las buenas practicas de cada región. Esto es especialmente importante en los transformadores para sistemas con retorno de corriente por tierra.

MANTENIMIENTO DEL TRANSFORMADOR

El transformador es un equipo eléctrico del cual a menudo se abusa por descuido o desconocimiento, con sobrecargas continuas, protecciones inadecuadas y un pobre mantenimiento. Estos abusos se cometen a título de que el transformador es un aparato estático, construido robustamente por lo que sus posibilidades de falla son mínimas.

Mantenimiento Preventivo.

Es recomendable una inspección visual periódica de las partes externas del transformador al menos cada dos años. En esta inspección se deberán tomar las precauciones y medidas necesarias sobre la seguridad.

Los puntos de dicha inspección son:

- Las boquillas de alta tensión.
- Las boquillas de baja tensión y la conexión de los cables.
- Los apartarrayos y accesorios de protección.
- El acabado del tanque.
- La hermeticidad.
- La carga.

- Los empaques (en boquillas, tapas, tanques, registros de mano, etc.).
- Las válvulas (de muestreo, sobrepresión, drenaje, etc.).

Mantenimiento Correctivo.

Las fallas que pueden ocurrir en un transformador puede clasificarse como sigue:

1. Deterioro del aceite
2. Fallas en equipo auxiliar
3. Fallas en el devanado

PRECAUCIONES

1. No energizar el transformador cuando se tenga bajo nivel de aceite.
2. Para evitar la entrada de humedad, no se deberá abrir el registro de mano o la tapa del transformador en ambiente con alto porcentaje de humedad. Al cerrarlo se debe tener cuidado de colocar los empaques en su posición correcta.
3. Tome las medidas de seguridad para acercarse a un transformador, desenergice previamente, donde la conexión a tierra este abierta o no este conectada.
4. No hacer cambio de derivaciones con el transformador energizado.
5. Nunca opere un transformador sin ser revisado, cuando existan señales de falla interna por ejemplo:
 - Abombamiento en el tanque.
 - Fuga de aceite en exceso por la tapa.
 - Fuga de aceite por la válvula de sobre presión, etc.
6. Cuando un aislador tenga algún daño, por ejemplo, esté fracturado, se deberá reemplazar inmediatamente.

CONCLUSIONES:

Para evitar daños causados por parámetros eléctricos excesivos (corriente o tensión) todo transformador debe de contar con protecciones que aíslen el aparato o sistema de distribución de estos fenómenos dañinos. Por lo anterior se recomienda proteger los siguientes elementos:

- Apartarrayos, uno para cada fase.
- Fusible limitador de corriente en el lado primario.
- Interruptor o limitador de corriente en el lado secundario del transformador y lo más cercano a éste.

INTERRUPTORES

El interruptor es junto con el transformador la parte más importante de una subestación eléctrica y debe ser capaz de interrumpir corrientes eléctricas de intensidad y factores de potencia diferentes. Algunas de sus partes principales son: boquillas, terminales que a veces incluyen transformadores de corriente, válvulas de llenado, descarga y muestreo de fluido aislante, además de conectores de tierra, placa de datos y gabinete que contiene los dispositivos de control, protección, medición, accesorios como compresora, resorte, bobina de cierre o de disparo, calefacción, etc.

Las normas internacionales recomiendan que como mínimo se deben especificar las siguientes características nominales de un interruptor:

1. Tensión nominal \overline{U} y corriente nominal.
2. Frecuencia nominal.
3. Capacidad de interrupción simétrica y asimétrica.
4. Capacidad de cierre de corto circuito.
5. Máxima duración de la corriente de corto circuito o corriente de tiempo corto.
6. Ciclo de operación nominal.
7. Tensión de restablecimiento.
8. Resistencia de contacto.
9. Cámaras de extinción del arco.

TIPOS DE INTERRUPTORES

Interruptor en gran volumen de aceite. En este tipo de extinción el arco producido calienta el aceite dando lugar a una formación de gas muy intensa, que aprovechando el diseño de la cámara empuja un chorro de aceite a través del arco, provocando su alargamiento y enfriamiento hasta llegar a la extinción del mismo, al pasar la onda de corriente por cero. Se emplean en tensiones medidas de 6 a 34.1 KV.

Interruptor en pequeño volumen de aceite. Consumen poco aceite, en general se usa en tensiones de 230 KV y utiliza aproximadamente un 5% del volumen de aceite del caso anterior.

Interruptores en aire comprimido. Se realiza aplicando al arco eléctrico una fuerte inyección de aire comprimido de manera que el arco mismo se alarga y se enfría en una forma muy eficaz, por otra parte se sustituye rápidamente el gas ionizado de manera que se recupera en forma inmediata las características dieléctricas entre los contactos evitando así posibles rearqueos ya que soporta la tensión transitoria de restablecimiento. Sus principales ventajas son el bajo costo y su rapidez de operación.

Interruptor en vacío. Está construido por un recipiente de material aislante como por ejemplo porcelana o vidrio, en este recipiente se encuentran montados los contactos fijo y móvil, el contacto móvil es controlado desde el exterior por medio de una varilla aislante que se apoya en un dispositivo especial que permite el movimiento. Si se supone que se quiere interrumpir una corriente alterna de un valor relativamente pequeño cuando un contacto se separa del otro que se encuentra a potencial negativo (cátodo) se forma un mecanismo del tipo catódico que origina una pequeña descarga hacia el otro contacto que se encuentra a un potencial positivo (ánodo) y emite iones positivos bajo la forma de vapor del electrodo del metal que construye el electrodo mismo, éste vapor se forma por el efecto de elevada temperatura en la superficie de la zona interesada de contacto.

FALLAS EN LOS INTERRUPTORES.

Fallas en las terminales. Dentro de esta categoría se considera a todas las fallas pegadas al interruptor. En este caso la oscilación de la tensión se amortigua por la resistencia propia del circuito de potencia y su frecuencia depende de los valores de la inductancia y de la capacitación del lado de la fuente.

Fallas en una línea corta. Este tipo de falla hace muy crítico el comportamiento de los interruptores, principalmente cuando ocurre entre los 3 y 5 Km de distancia del interruptor. La tensión del restablecimiento está dada por la diferencia de tensión entre el lado de la fuente y del lado de la línea, con una frecuencia de oscilación del doble de la fundamental.

Apertura en oposición de fases. Se produce en el caso de que por una conexión de fase equivocada, al cerrar el interruptor, este cierre corta un corto circuito, directo lo que provoca una apertura violenta y produciéndose una sobretensión.

Apertura de pequeñas corrientes inductivas. Es el caso típico de la apertura de un transformador excitado por un banco de reactores. Esta apertura puede provocar la llama de falla evolutiva.

Falla evolutiva. Se produce cuando al abrir un circuito inductivo aparece la sobretensión que puede provocar el arqueo de los aisladores exteriores.

TIPOS DE CUCHILLAS.

Las cuchillas desconectadoras pueden tener formas y características constructivas que tienen variantes en base a la tensión de aislamiento y a la corriente que deben conducir en condiciones normales, pudiéndose distinguir:

Cuchilla unipolar. En este seccionador en la posición cerrada la navaja se encuentra insertada en un contacto que está a presión aprisionando la navaja para garantizar un buen contacto eléctrico. Puede haber de una o mas navajas

según sea la corriente nominal que conduzcan por lo general se emplean en baja y media tensión con corrientes hasta de 1000 a 1500 amperes

Cuchilla desconectadora tripolar giratoria. Son prácticamente iguales a las giratorias unipolares, pero emplean manillo tripolar para accionamiento giratorio simultáneo de los tres polos, por lo general se usan de 69 y 115 KV.

Cuchilla desconectadora tipo pantógrafo. Se construye en general del tipo monopolar siendo elementos de conexión del tipo pantógrafo de donde viene su nombre, el cierre del circuito se obtiene levantando el contacto móvil que se encuentra sobre el pantógrafo conectándose al contacto fijo que se monta sobre el cable o sistemas de barras de la subestación, su empleo es importante en las subestaciones en donde se dispone de poco espacio, y por otro lado presentan la ventaja que pueden ser inspeccionadas sin poner en fuera de servicio esa parte de la instalación.

Los materiales utilizados en la fabricación de cuchillas son los siguientes: *base* - fabricado en acero galvanizado-, *aisladores* -fabricados en porcelana, siendo de tipo *columna o alfiler*-, *cuchilla* -fabricado en cobre o en aluminio según la zona de instalación-.

FUSIBLES

Son dispositivos de protección eléctrica de una red que hacen las veces de un interruptor, siendo mas baratos que estos. Se emplean en aquellas partes de una instalación eléctrica en que los relevadores y los interruptores no se justifican económicamente.

CARACTERÍSTICAS DE LOS FUSIBLES.

- ***Tensión nominal.*** Es el valor de la tensión a la cuál se designa la operación del fusible y que normalmente corresponde a la tensión máxima de operación del sistema en el que va a operar.
- ***Corriente nominal.*** Es el valor de la corriente al cuál el fusible debe presentar calentamiento excesivo y a la que opera por tiempo indefinido.

- **Capacidad interruptiva.** Es el máximo valor de la corriente que el fusible está en posibilidad de interrumpir cuando está su tensión nominal y en condiciones determinadas de tensión de restablecimiento y factor de potencia.

TIPOS DE FUSIBLES.

De acuerdo a su capacidad de ruptura, lugar de instalación y costo, se pueden utilizar diferentes tipos de fusibles, entre los más conocidos se pueden indicar los siguientes:

- **Fusibles de expulsión.** En este tipo de fusibles un tubo de material orgánico capaz de producir una cantidad notable de gas y soportar una alta temperatura, que une a los dos materiales del fusible, este tubo también tiene un dispositivo de contacto de manera que cuando el fusible se funde los contactos se separan cayendo el tubo de manera que pueda observar físicamente la operación.
- **Fusibles de ácido bórico.** La función del tubo de material orgánico se sustituye por un cuadro de ese material de manera que el elemento fusible se coloca en el extremo abierto del tubo aislante y cuando interviene en el punto de contacto se alarga el arco hacia el espacio en donde se pone el ácido bórico, este bajo la acción del calor se descompone desarrollando vapor de agua cuyo efecto de ionizante es más eficaz que el del gas en los fusibles de expulsión.
- **Fusibles limitadores de corriente.** Tiene doble acción, por un lado reduce la corriente de falla debido a la característica de introducir una resistencia elevada en el circuito y por otro debido al incremento de la resistencia para de un circuito de bajo factor de potencia a otro circuito de alto factor de potencia.
- **Fusibles en vacío.** Este tipo de interrupción se produce al separarse los contactos dentro de un recipiente hermético en el que se ha hecho el vacío, de tal manera que a medida que se separan los contactos, la corriente se concentra en los puntos más salientes de la superficie del contacto y cesa cuando se evapora el último punto entre los dos contactos.

BARRAS COLECTORAS.

Se llaman barras colectoras al conjunto de conductores eléctricos que se utilizan como conexión común de los diferentes circuitos de que consta una subestación. Las barras colectoras están formadas principalmente de los siguientes elementos:

- Conductores eléctricos.
- Aisladores -que sirven de elementos aislantes eléctricos u de soportes mecánicos del conductor-.
- Conectores y herrajes -que sirven para unir los diferentes tramos de conductores y para sujetar el conductor aislador-.

El diseño de las barras colectoras implica la elección apropiada del conductor en lo referente al material, tipo y forma del mismo, a la selección de los aisladores y sus accesorios y a la selección de las distancias entre apoyos y entre fases. El diseño se hace con base en los esfuerzos estáticos y dinámicos a que están sometidas las barras, y según las necesidades de conducción de corriente.

APARTARRAYOS.

Son unos dispositivos eléctricos formados por una serie de elementos formados por una serie de elementos resistidos no lineales y expulsores que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, operación de interruptores o de desbalanceo de sistemas.

Se fabrican diferentes tipos de apartarrayos, basados en el mismo principio de operación. Los más conocidos son:

- Apartarrayos tipo autovalvular.
- Apartarrayos de resistencia variable.

Las sobretensiones originadas por descargas indirectas se deben a que almacenan sobre las líneas cargas electrostáticas que al ocurrir la descarga se parten en dos y viajan en ambos sentidos de la línea a la velocidad de la luz.

Los apartarrayos protegen también a las instalaciones contra descargas directas, para lo cual tiene un cierto radio de protección. Para dar mayor protección contra descargas directas se instalan unas varillas conocidas en la línea de transmisión.

AISLADORES

Los aisladores en las subestaciones eléctricas se emplean como elementos de montaje y sujeción de barras y conductores, existen básicamente dos tipos:

- ***De soporte.*** A base de montaje en alfiler de acero con rosca recubierta de plomo o simple sujeción a base de tornillos según sea la tensión de operación,
- ***De suspensión.*** Semejante a los usados en las líneas de transmisión con las mismas dimensiones y montajes.

El empleo de cada uno de estos tipos está sujeto al elemento conductor usado en el sistema de barras de la instalación; así por ejemplo si se emplea barra sólida al aislador será de soporte, pero si se emplea cable es común el empleo de aisladores tipo suspensión formando cadenas montadas generalmente en posición horizontal.

Se fabrican para uso interior e intemperie por lo general de vidrio y porcelana aunque para instalaciones interiores también se pueden hacer las resinas fundidas.

PROTECCIONES PRINCIPALES DE LAS SUBESTACIONES.

En una subestación los principales elementos que necesitan ser protegidos son los siguientes:

- Líneas o cables de alimentación.
- Banco de transformadores de potencia.
- Barras colectoras o buces.
- Respaldo local contra falla de interruptores.
- Alimentadores.
- Banco de capacitores.
- Banco de tierras.

Las líneas de transmisión que rematan en una subestación se pueden proteger dependiendo de sus características, mediante cualquiera de las protecciones siguientes:

Sobrecorriente. Es la más sencilla y por lo tanto barato, se utiliza en instalaciones con diagramas unifilares sencillos, se emplean dos relevadores de fase y uno de tierra. Se acostumbra usarlas en líneas de distribución y en suministro a instalaciones industriales.

Distancia. Se usa como protección primaria en transmisión. Los relevadores son preferibles a los de sobrecorriente porque no les afecta los cambios en la magnitud de la corriente.

Hilo piloto. Es una protección de alta velocidad para protección de líneas. Se usa en líneas cortas de menos de 20 Km.; también en la protección de cables de potencia.

Onda portadora. Es la protección mas confiable para líneas de alta tensión, se puede instalar a partir de 34 KVA.

REDES DE TIERRA

Uno de los aspectos principales para la protección contra sobretensiones en las subestaciones es la de disponer de una red de tierra adecuada, a la cuál se conectan los neutros de los aparatos, los apartarrayos, los cables de guarda, las estructuras metálicas, los tanques de los aparatos y todas aquellas partes metálicas que deben estar a potencial de tierra.

Las necesidades de contar con una red de tierra en las subestaciones es la de cumplir con las siguientes funciones:

- a) Proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de las corrientes de tierra, ya sea que se deba a una falta de corto circuito o a la operación de un apartarrayos.
- b) Evitar que, durante la circulación de estas corrientes de tierra, puedan producirse diferencias de potencial entre distintos puntos de la subestación.
- c) Facilitar mediante sistemas de relevadores, la eliminación de las fallas a tierra en los sistemas eléctricos.
- d) Dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio eléctrico.

DISPOSICIÓN BÁSICA DE LAS REDES DE TIERRA.

Para las redes de tierra, se han considerado básicamente tres sistemas:

- Sistema radial
- Sistema de anillo
- Sistema de red

Tipos de tierras.

	<i>ohms/mt.</i>
1. Arcilla, fósil, marga, mantillo húmedo	10
..	2
2. Arena húmeda	10
..	3
3. Arena fina, Yeso seco	10
..	4
4. Basalto	10
..	5
5. Roca compacta	10

BANCOS DE CAPACITORES

En las instalaciones industriales y de potencia, los capacitores se instalan en grupos llamados bancos. Los bancos de capacitores de alta tensión generalmente se conectan en estrella con neutro flotante y rara vez con neutro conectado a tierra. El que utilice uno u otro tipo de neutro depende de las consideraciones siguientes:

- Conexión del sistema a tierra.
- Fusibles de capacitores.
- Dispositivos de conexión y de desconvino.
- Armónicas.

Se conectan en neutro flotante para evitar la circulación a través del banco de capacitores, de armónicas de corriente que producen magnitudes de corriente superiores al valor nominal y que pueden dañar los capacitores. La principal ventaja de esta conexión es permitir el uso de fusibles de baja capacidad de ruptura.

FACTOR DE POTENCIA

El equipo eléctrico se ha de instalar para alimentar una carga dada, queda determinado por las necesidades de voltamperios de la misma, por lo que resulta directamente afectado por el factor de potencia de la carga. La carga industrial ordinaria en un sistema de distribución de energía funciona con un factor de potencia de retardo que en muchos casos es lo suficientemente bajo para que su aumento resulte justificable económicamente.

Dicho aumento o corrección del factor de potencia se efectúa conectando una batería de capacitores en paralelo con la carga, determinándose el tamaño de la batería de forma que el factor de potencia de la combinación en paralelo alcance el valor deseado.

Es preciso señalar que la corrección del factor de potencia no evita las necesidades de potencia reactiva de la propia carga. Cuando se corrige el factor de potencia la mayor parte de la potencia reactiva necesaria es proporcionada por los capacitores en paralelo, en vez de verificarse desde remotos generadores a través del sistema de distribución. Entonces la oscilación de energía de la potencia reactiva es la medida cuantitativa, tiene lugar principalmente entre las cargas y los capacitores adyacentes, en vez de tenerlo entre la carga y los lejanos generadores.

De este modo, la oscilación no aumenta excesivamente la carga sobre los generadores y el sistema de distribución, ni eleva las pérdidas en el cobre, por lo que esta característica posee un indiscutible valor económico.

Los medidores del factor de potencia, son aparatos que sirven para medir el factor de potencia. Suelen tener en sus escalas dos sentidos a partir del coseno de 0 hasta 1, en que la aguja esta en el centro. Hacia la derecha se mide el adelanto de la fase y hacia la izquierda el atraso.

MANTENIMIENTO DE UNA SUBESTACIÓN

Durante el proceso de instalación del equipo de una subestación y sobre todo al final que es cuando se procede a la puesta en servicio de la instalación, es necesario efectuar una serie de pruebas para determinar el estado final de los aislamientos, los circuitos de control, la protección, señalización, alarmas y finalmente el funcionamiento del conjunto de la subestación.

Una vez instalado cada uno de los equipos, la secuencia de las pruebas de campo, se puede desarrollar en el siguiente orden, aunque no todas las pruebas se indican, se efectúan a cada uno de los equipos mencionados:

- Resistencia de aislamiento.
- Factor de potencia de los aislamientos.
- Rigidez dielectrica del aceite.
- Relación de transformación.
- Resistencia de contacto.
- Tiempo de apertura y de cierre de los contactos de interruptores.
- Continuidad eléctrica de los circuitos.
- Polaridad
- Tensiones mínimas de operación

Resistencia de aislamiento.

Esta prueba permite determinar el estado que guarda los aislamientos eléctricos de un aparato, de tal manera que pueda soportar conforme a las normas las tensiones nominales y de prueba. Dicha resistencia viene dada por el valor en Megaohms que presenta un aislamiento al aplicarle una fuente de tensión de corriente directa, durante un tiempo determinado, que producen una corriente de fuga en el aislamiento. Para efectuar la prueba se utiliza un aparato llamado Megger.

Factor de potencia de los aislamientos.

Esta prueba proporciona una indicación de la calidad de un aislamiento sobre todo en lo referente a la detección de humedad y de otros contaminantes, como lo que se mide una relación de perdidas, el factor de potencia es independiente de la cantidad de aislamiento bajo prueba. Experimentalmente, esta prueba es más confiable que la resistencia de aislamiento.

Rigidez dieléctrica del aceite.

Esta prueba es una medición de la habilidad que tiene un aceite aislante para soportar una diferencia de campo eléctrica, sin que produzca un arco entre los electrodos del campo. La rigidez dieléctrica se produce en presencia de los siguientes factores:

- Aumento de distancia entre partes vivas.
- Contenido de humedad.
- Contenido de gases fluidos.
- Temperaturas.
- Velocidad de incremento de la tensión.

Relación de transformación.

Esta prueba sirve para comprobar que el número de espiras devanadas en la bobina de un transformador coinciden con los datos de la placa del aparato. Para esta prueba se utiliza un aparato que se suele conocer con las iniciales de las palabras inglesas (TTR), o bien probar la relación de espiras que se utilizan para obtener la relación de transformación sin carga.

Polaridad.

Esta prueba se efectúa en cualquier tipo de transformador. Es necesario efectuar en los transformadores que han sufrido alguna reparación en sus bobinas y a la hora de conectar estas bobinas se puede haber cometido algún error en la colocación de las terminales.

Faseo.

Es el procedimiento mediante el cuál se prueba que las fases del sistema de alta tensión que alimentan una subestación por el lado de baja tensión ya que si esto no ocurre al conectar la subestación se producirá un corto circuito por existir una diferencia de tensión entre los dos extremos abiertos de una misma fase. El faseo se desarrolla en dos partes:

- Faseo interno de la subestación.
- Faseo externo de la subestación contra el sistema.

Toma de carga.

Una vez hecha las pruebas del equipo, faseada la subestación y probada con tensión nominal, el siguiente y último paso es que la subestación tome la carga normal para lo cuál

se polarizan los relevadores que lo necesiten y se calibran las protecciones y los equipos de protección para que funcionen correctamente con la carga de cada circuito de la subestación.

Los requisitos mínimos que debemos considerar en el diseño de una subestación eléctrica son:

- a) La subestación deberá cumplir los requisitos mínimos de la C.F.E. para este tipo de instalaciones.
- b) Debe ser funcional y de alta confiabilidad.
- c) Debe contar con un equipo de protección adecuado.
- d) El proyecto deberá contemplar la mejor alternativa económica para su adquisición y operación.

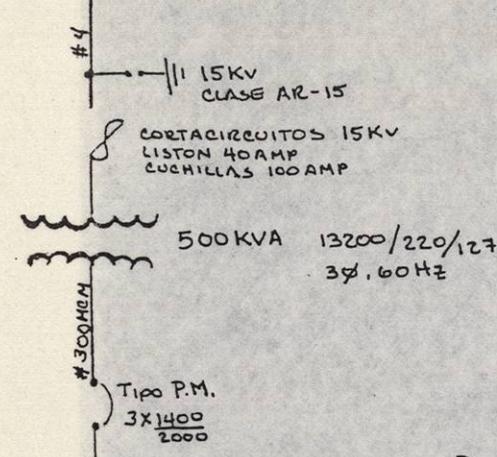
Capacidad de la subestación.

Si es nueva la instalación es necesario conocer la carga actual así como la esperada en los siguientes 5 años. Así mismo es conveniente analizar la posibilidad de contar con uno o dos transformadores para satisfacer la capacidad.

Después de lo anterior la C.F.E. nos deberá de proporcionar los siguientes datos:

- a) Voltaje de suministro y punto de entrega.
- b) Valor del corto circuito en el punto de entrega.
- c) Lugar de medición y equipo a usar.
- d) Equipo de desconexión y protección de la acometida.

C.F.E. 13.2KV, 60Hz, 3Ø



TABLERO DE DISTRIBUCION AUTOSOPOORTADO MP-40

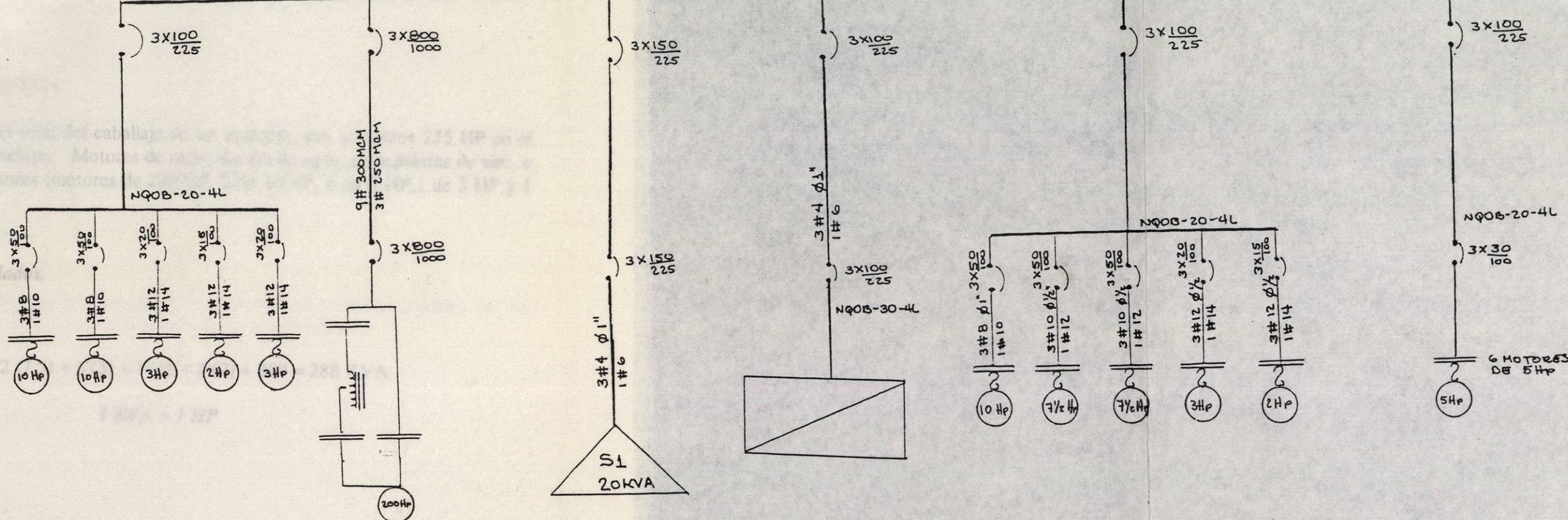


Diagrama Unifilar

Desarrollo:

Se desea instalar un transformador en un edificio de locales comerciales, ubicado en la Cd. de Monterrey, N.L., el cuál proporcionará un voltaje 220/127V a las áreas de pasillos, talleres y áreas comunes. el edificio cuenta con las siguientes cargas:

17 motores 3 ϕ , 220 V.

2 de 2HP
3 de 3HP
6 de 5HP
2 de 7.5 HP
3 de 10 HP
1 de 200 HP

Alumbrado y contactos.

29 focos de 100 watts
4 lámparas fluorescentes 2 x 74
126 lámparas fluorescentes 2 x 40
36 lámparas fluorescentes 2 x 20
1 lámpara fluorescente 4 x 40
6 contactos de 125 Watts

1 máquina de soldar de 20 KVA.

Aire acondicionado: Del total del caballaje de los motores, son utilizados 255 HP en el sistema de refrigeración; incluye: Motores de recirculación de agua, manejadoras de aire e impulsores de los compresores (motores de 200 HP, 2 de 10 HP, 6 de 5 HP, 1 de 3 HP y 1 de 2HP).

Cálculo de los KVA instalados.

Motores

$$3 (10) + 2 (7.5) + 6 (5) + 3 (3) + 2 (2) + 200 = 288 \text{ KVA}$$

$$1 \text{ KVA} = 1 \text{ HP}$$

Soldadora

20 KVA

Alumbrado

$$\frac{18376.4}{.9} = 20.41 \text{ KVA}$$

$$\text{KVA}_{\text{inst.}} = (288 + 20 + 20.41) = 328.41$$

$$KVA_{transf.} = (KVA_{inst.}) (F.D.) + (KVA_{inst.}) (.25)$$

$$KVA_{transf.} = (328.41) (.8) + (328.41) (.25)$$

$$KVA_{transf.} = 344.83 \text{ KVA}$$

Usamos un transformador de **500 KVA** marca PROLEC, tipo estación norma NMX-J-116; 13,200/220/127, 3 ϕ , para operar a 537 M.S.N.M., 60Hz., Z=2.5%-3.17%, 2240Kg, c/545 Lts. de aceite, conexión delta-estrella, sobre elevación de temperatura = 65°C sobre la del ambiente con una media de 30°C y una máxima de 40°C, con Tap's 2 hacia arriba y 2 hacia abajo de 2.5% c/u.

Cálculo de protección y cable en A.T.

$$L_{n \text{ TAT}} = \frac{KVA_{transf.}}{\sqrt{3} (KV)} = \frac{500}{(\sqrt{3}) (13.2)} = 21.8 \text{ Ampers}$$

$$L_{LISTON} = (200\%)(L_{n \text{ TAT}}) = (2) (21.8A) = 43.73 \text{ Ampers}$$

Se seleccionan 3 cortocircuitos fusibles en 15 KV con listones fusibles de 40 Ampers marca Electramex en tres cuchillas portafusibles de 100 Ampers.

Calibre del conductor en A.T.

Calibre No. 4 cobre desnudo

Apartarrayos

3 de 15 KV clase AR-15.

Aisladores

3 por fase tipo suspensión para 15 KV, flameo en seco 85 KV, flameo en humedad 45 KV, marca EC-SC DGE 1252.

Fusible en baja tensión.

$$L_n = \frac{500 \text{ KV}}{(\sqrt{3})(220\text{V})} = 1312.15 \text{ A}$$

Interruptor tipo PH marco 2000 Amperes, 3 polos, 1400 Ampers de alta capacidad interruptiva.

Sección de conductores para llegar a la barra de bus.

$$L_{cable} = \frac{1312.15\text{A}}{(\text{Fac.Temp})(\text{Fact. Agrup.})}$$

Factor de corrección por temperatura de 36 - 40°C = 0.88

Factor de corrección por agrupamiento a 75 °C para 5 conductores por fase = 0.83

$$L_{cable} = \frac{1312.15}{(.88)(.83)(5)} = 359.3 \text{ A}$$

Se utilizan cinco conductores por fase de 300 MCM THHN a 75 °C

Protección para los motores.

Motor de 2HP

$$L_n = \frac{2}{(\sqrt{3})(.22)} = 5.428 \text{ A} \qquad (5.428)(2) = 10.496 \text{ A}$$

Usamos una pastilla 3 x 15 / 100, arrancador magnético SBG-2, 3 elementos térmicos fusibles B9.10.

Calculo de cable

$$(5.428)(1.25) = 6.56 \text{ A}$$

Usamos 3#12, 1#14, tubería 1/2"

Motor de 3HP

$$L_n = \frac{3}{(\sqrt{3})(.22)} = 7.873 \text{ A} \qquad (7.873)(2) = 15.74 \text{ A}$$

Usamos una pastilla 3 x 20 / 100, arrancador magnético SBG-2, 3 elementos térmicos, fusibles B14.

Calculo del cable

$$(7.873)(1.25) = 9.84 \text{ A}$$

Usamos 3#12, 1#14, tubería 1/2"

Motor 5HP

$$L_n = \frac{500 \text{ KV}}{(\sqrt{3})(220\text{V})} = 1312.15 \text{ A} \qquad (1321)(2) = 26.242 \text{ A}$$

Usamos una pastilla 3 x 30 / 100, arrancador magnético SCG-3, interruptor de seguridad #321 y 3 elementos térmicos B25.

Calculo del cable

$$(13.121)(1.25) = 16.4 \text{ A}$$

Usamos 3#12, 1#14, tubería 1/2"

Motor 7.5 HP

$$L_n = \frac{7.5}{(\sqrt{3})(.22)} = 19.682 \qquad (19.682)(2) = 39.364 \text{ A}$$

Usamos una pastilla 3 x 50 / 100, arrancador magnético SCG-3, interruptor de seguridad #321 y 3 elementos térmicos B36.

Calculo del cable

$$(19.682)(1.25) = 24.6 \text{ A}$$

Usamos 3#10, 1#12, tubería 1/2"

Motor 10 HP

$$L_n = \frac{10}{(\sqrt{3})(.22)} = 26.243 \qquad (26.243)(1.65) = 43.3 \text{ A}$$

Usamos una pastilla 3 x 50 / 100, arrancador magnético SDG-1, interruptor de seguridad #322 y 3 elementos térmicos alcación fusible B45.

Calculo del cable

$$(26.243)(1.25) = 32.8 \text{ A}$$

Usamos 3#8, 1#12, tubería 1"

Motor 200 HP

$$L_n = \frac{200}{(\sqrt{3})(.22)} = 524.863 \text{ A} \qquad (524.863)(1.4) = 734.808 \text{ A}$$

Usamos 3#300 KCM, por fase, 3#8 en tubería de 2 1/2"

Soldadora

$$L_n = \frac{20}{(\sqrt{3})(.22)} = 52.486 \quad (52.486)(2.5) = 131.215 \text{ A}$$

Usamos una pastilla 3 x 150 / 225.

Calculo del cable

$$(52.486)(1.25) = 65.6 \text{ A}$$

Usamos 3#4, 1#6, en tubería de 1 1/4"

Tablero de alumbrado de 20 KW

$$I = \frac{18376.4}{(\sqrt{3})(.22)(.9)} = 53.583 \text{ A.}$$

Usamos un interruptor general de 3 X 70 / 100.

Calculo del cable

$$(53.583)(1.25) = 67 \text{ A}$$

Usamos 3#4, 1#6 en tubería de 1".

Para el tablero de alumbrado

$$I = \frac{3}{(\sqrt{3})(.127)(.9)} = 101.023 \text{ A}$$

Calculo de cable

$$(101.023)(1.25) = 126.28 \text{ Am} / 3 \text{ fases}$$

$$I_{zapata} = 42.1 \text{ A}$$

Usamos un tablero de distribución NQOB-20-4L con $I_z = 100$ Amperes.

