

24/105



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA
DE MEDIANA Y BAJA TENSION

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER
EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
PRESENTA
LUIS HUMBERTO RANGEL MORAN

MEXICO, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

| CAPITULO | | PAGINA |
|----------|--|--------|
| I | INTRODUCCION | 1 |
| II | GENERALIDADES | 3 |
| III | SISTEMA DE ILUMINACION | 6 |
| III.1 | Bases Teóricas | 6 |
| A | Luz y Visión | 6 |
| B | Diseño de la Iluminación | 15 |
| C | Iluminación Industrial | 19 |
| D | Análisis de Costos | 24 |
| III.2 | Proyecto de Alumbrado | 26 |
| A | Objetivo | 26 |
| B | Generalidades | 27 |
| C | Definiciones | 28 |
| D | Areas no Peligrosas | 30 |
| E | Fuentes Luminosas | 35 |
| F | Balastos | 38 |
| G | Control de la Luz | 39 |
| H | Tipos de Lámparas | 41 |
| I | Equipo de Iluminación | 44 |
| J | Sistemas de Iluminación | 45 |
| K | Diseño y Cálculo de Alumbrado | 46 |
| L | Procedimiento de Cálculo | 48 |
| M | Consideraciones Económicas | 52 |
| N | Conclusiones | 53 |
| IV | SISTEMA DE FUERZA | 54 |
| IV.1 | Proyecto Eléctrico para Distribución de Fuerza | 54 |
| A | Generalidades | 54 |
| B | Clasificación de las Cargas | 56 |
| C | Criterios para la Elección del Sistema de Distribución | 57 |
| D | Sistemas de Distribución | 58 |

| CAPITULO | | PAGINA |
|----------|---|--------|
| E | Conductores para Sistemas de Distribución | 60 |
| F | Selección del Calibre de Conductor mas Adecuado | 62 |
| G | Diseño de Protección | 65 |
| IV.2 | Centro de Control de Motores de Baja Tensión | 68 |
| IV.3 | Programa General para la Planeación de un Sistema de Distribución | 76 |
| V | SUBESTACION | 85 |
| V.1 | Introducción | 85 |
| V.2 | Generalidades | 89 |
| V.3 | Clasificación | 91 |
| V.4 | Principales Elementos | 93 |
| VI | SISTEMA DE TIERRAS Y PARARRAYOS | 95 |
| VI.1 | Sistema de Tierras | 95 |
| A | Generalidades | 95 |
| B | Límites de Corriente Tolerables por el Cuerpo Humano | 100 |
| C | Procedimiento para el Cálculo de un Sistema de Tierras | 103 |
| D | Revisiones Periódicas de la Red | 104 |
| E | Equipos que deben Conectarse a Tierra | 105 |
| VI.2 | Sistema de Pararrayos | 106 |
| A | Generalidades | 106 |
| B | Elementos de un Sistema de Pararrayos | 108 |
| C | Factores que deciden sobre la necesidad de instalar o no un Sistema de Pararrayos | 109 |
| D | Consideraciones Básicas de Diseño | 110 |
| E | Interconexión del Sistema de Pararrayos con el Sistema General de Tierras | 111 |
| F | Protección a Edificios y Estructuras | 112 |

| CAPITULO | | PAGINA |
|-----------------|---|---------------|
| VII | SISTEMA DE EMERGENCIA | 116 |
| VII.1 | Introducción | 116 |
| VII.2 | Generalidades | 119 |
| VII.3 | Clasificación | 121 |
| VII.4 | Características Generales de las Plantas Eléctricas Automáticas | 123 |
| VII.5 | Generador Síncrono | 125 |
| VII.6 | Excitatriz Rotatoria sin Carbones, combinada con unidad Rectificadora Rotatoria | 128 |
| VIII | BIBLIOGRAFIA TECNICA | 130 |
| VIII.1 | Ingeniería Eléctrica | 130 |
| VIII.2 | Instalaciones Eléctricas | 131 |
| VIII.3 | Iluminación | 132 |
| VIII.4 | Manuales Técnicos Prácticos | 132 |
| VIII.5 | Reglamentación y Tarifas | 132 |
| VIII.6 | Información Técnica y Catálogos de Fabricantes de Equipo Eléctrico | 133 |

C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

Podemos decir que ya son muchos los estudios que se han hecho sobre los Sistemas Eléctricos de Potencia, pero cabe hacer notar el gran incremento que están teniendo a causa del creciente consumo eléctrico mundial. Además, los elementos que los constituyen están siendo cada vez mas perfeccionados, y la demanda por personal capacitado tanto para planeación como para construcción y manejo es cada día mayor. Por eso es que nos hemos unido a todos aquellos profesionistas que de una u otra manera estén relacionados con el constante estudio de los Sistemas Eléctricos de Potencia, en particular los de Mediana y Baja tensión, que van ligados estrechamente al consumo y distribución final de la energía y que comúnmente se denominan Instalaciones Eléctricas Internas.

Otra razón por la cual nos vimos encaminados a la selección de este tema, fue sin duda la gran cantidad de infor

mación con que se dispone y que no obstante el estudiante de ingeniería e incluso el profesionalista en ejercicio desconoce ó tiene acceso limitado a ella.

Un factor muy importante en el estudio de los Sistemas Eléctricos de Potencia es sin duda, la gran escasez mundial de energía y por lo tanto el alto costo que representa su Generación. Creemos por lo mismo que debemos colaborar y más que nada orientar en el uso óptimo de la energía eléctrica.

Dado que existen muchas formas y tamaños de Sistemas Eléctricos de Potencia y la gran importancia que tiene la confiabilidad del uso de la energía eléctrica, genéricamente dividiremos a los Sistemas Eléctricos de Potencia en lo que se refiere a su tensión de operación.

Así pues enfocaremos el estudio de los Sistemas Eléctricos de Potencia hacia la buena planeación, tanto en mediana como en baja tensión, teniendo muy en cuenta los requisitos y aplicaciones de la reglamentación existente, como también los principios básicos en los cuales se basan los Sistemas Eléctricos de Potencia, sin olvidar las evaluaciones económicas, no solo basándonos exclusivamente en los costos iniciales de inversión ó a los costos por consumo de energía, sino en la total economía de la instalación durante un período de tiempo considerable.

C A P I T U L O I I

G E N E R A L I D A D E S

Iniciaremos el estudio de los Sistemas Eléctricos de Potencia con su definición.

Definimos un Sistema Eléctrico de Potencia como el conjunto de elementos necesarios para producir, transmitir, transformar y distribuir la energía eléctrica para su utilización final, incluyendo los equipos necesarios para lograr un suministro de energía eléctrica adecuada, como es la continuidad de servicio, regulación de voltaje etc., para el buen funcionamiento de las cargas dependientes de dicho sistema.

En la fig. # 1 se muestra un Sistema Eléctrico de Potencia con sus principales elementos constitutivos.

Los Sistemas Eléctricos de Potencia se pueden clasi

ficar de muchas formas, una de ellas es de acuerdo a la tensión de operación empleada y los clasificaremos de la siguiente manera:

- a) Extra Alta Tensión Mayor de 440 KV.
- b) Alta Tensión Mayor de 34 KV. y menor de 440 KV.
- c) Mediana Tensión Mayor de 1 KV. y menor de 32 KV.
- d) Baja Tensión Mayor de 0.127 KV. y menor de 1 KV.

Los Sistemas Eléctricos de Potencia desde el punto de vista del servicio que prestan pueden ser llamados Instalaciones Eléctricas externas ó internas.

1o. Externas son aquellas cuyos elementos integrantes son los siguientes; plantas generadoras, sistema de distribución, pasando por los sistemas de transmisión y transformación respectivamente, estos sistemas son propiedad de las compañías suministradoras.

2o. Internas son aquellas en las cuales sus elementos no constituyen los sistemas anteriores sino que se integran a ellos como simples cargas, y son propiedad de los usuarios.

Es notorio que los Sistemas Eléctricos de Potencia desde el punto de vista interno, merecen ser estudiados más a fondo, ya que no es posible un método específico para planeación en general de todo sistema, debido a la gran diversidad existente y sobre todo a los problemas propios de cada uno de ellos.

La planeación puede hacer diferir entre un buen sistema y un sistema que no cubra los requerimientos necesarios, esto es que no sea congruente con la reglamentación vigente.

Todos los ingenieros electricistas pueden planear un sistema que trabaje adecuadamente, sin embargo, tales sistemas son seleccionados por lo general en base a un costo inicial mínimo, sin tomar en cuenta los principios fundamentales de una buena planeación de un Sistema Eléctrico de Potencia, la cual comprende:

CAPACIDAD
 FUNCIONAMIENTO
 CALIDAD
 CONFIABILIDAD y
 SEGURIDAD

Generalmente estos conceptos no son comprendidos del todo y en consecuencia no se llega a tener el mejor proyecto para el sistema en cuestión. Así pues, definiremos brevemente estos conceptos enfocándolos hacia una buena planeación de los Sistemas Eléctricos de Potencia.

- A) CAPACIDAD.- Se debe planear el sistema para que sea capaz de conducir las corrientes de régimen

establecidas. No hay que olvidar al proyectar que todos los sistemas tienden a crecer y por lo tanto, es necesario prever reservas lógicas en todas sus partes.

- B)* **FUNCIONAMIENTO.**- Cualquier sistema debe proyectarse para la posibilidad de cambios por operación o por localización, así como para hacer accesible su instalación, operación, mantenimiento y futuras ampliaciones.
- C)* **CALIDAD.**- Al planear se debe prever la máxima estabilidad del voltaje en el punto requerido, esto es, tener en cuenta la localización de las cargas para calcular en base a la cantidad de derivaciones que tengamos, y obtener así caídas de voltaje aceptables.
- D)* **CONFIABILIDAD.**- Debemos tener en cuenta al planear que nuestro equipo sea adecuado con el sistema de suministro para asegurar la continuidad del servicio, en base a la máxima estandarización del equipo seleccionado.
- E)* **SEGURIDAD.**- Es importante planear los sistemas con un máximo de seguridad tanto para el equipo como para el personal de operación y mantenimiento y encauzar bien las posibles fallas de operación, teniendo en cuenta que el mínimo de seguridad lo obtenemos al acatar las reglamentaciones existentes.

Es necesario hacer un estudio preliminar del tipo de sistema a tratar, esto es, analizar los proyectos tanto civil como mecánico, debido a que muchas veces se elaboran sin tomar consideraciones apropiadas del espacio requerido para instalar el equipo eléctrico.

Antes de hacer cualquier estudio preliminar es de primordial importancia conocer el tamaño de nuestro sistema como carga y sobre todo su localización, pues de esto depende que la Cfa. suministradora nos pueda suministrar o no el servicio.

Para esto, es necesario, hacer una lista de todas las cargas, con sus factores de carga correspondientes y cualquier demanda especial.

La fig. # 2 nos representa esquemáticamente las diferentes etapas que se requieren para la buena planeación de los Sistemas Eléctricos de Potencia desde el proyectista hasta el lugar de uso seguro de la energía eléctrica.

Así mismo en la fig. # 3 se describe el Diagrama de Flujo que seguiremos en nuestro estudio de los S.E.P.

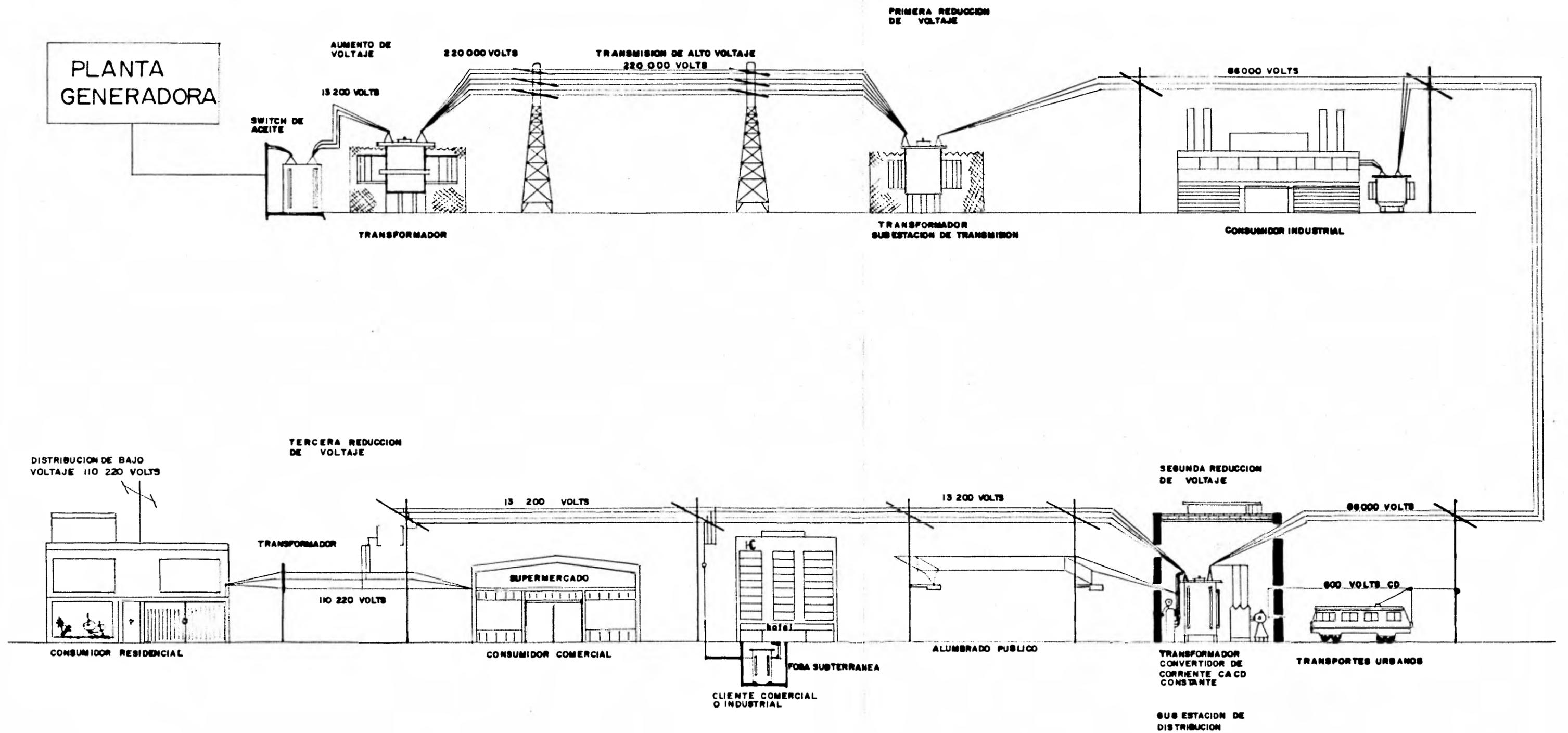


FIGURA I

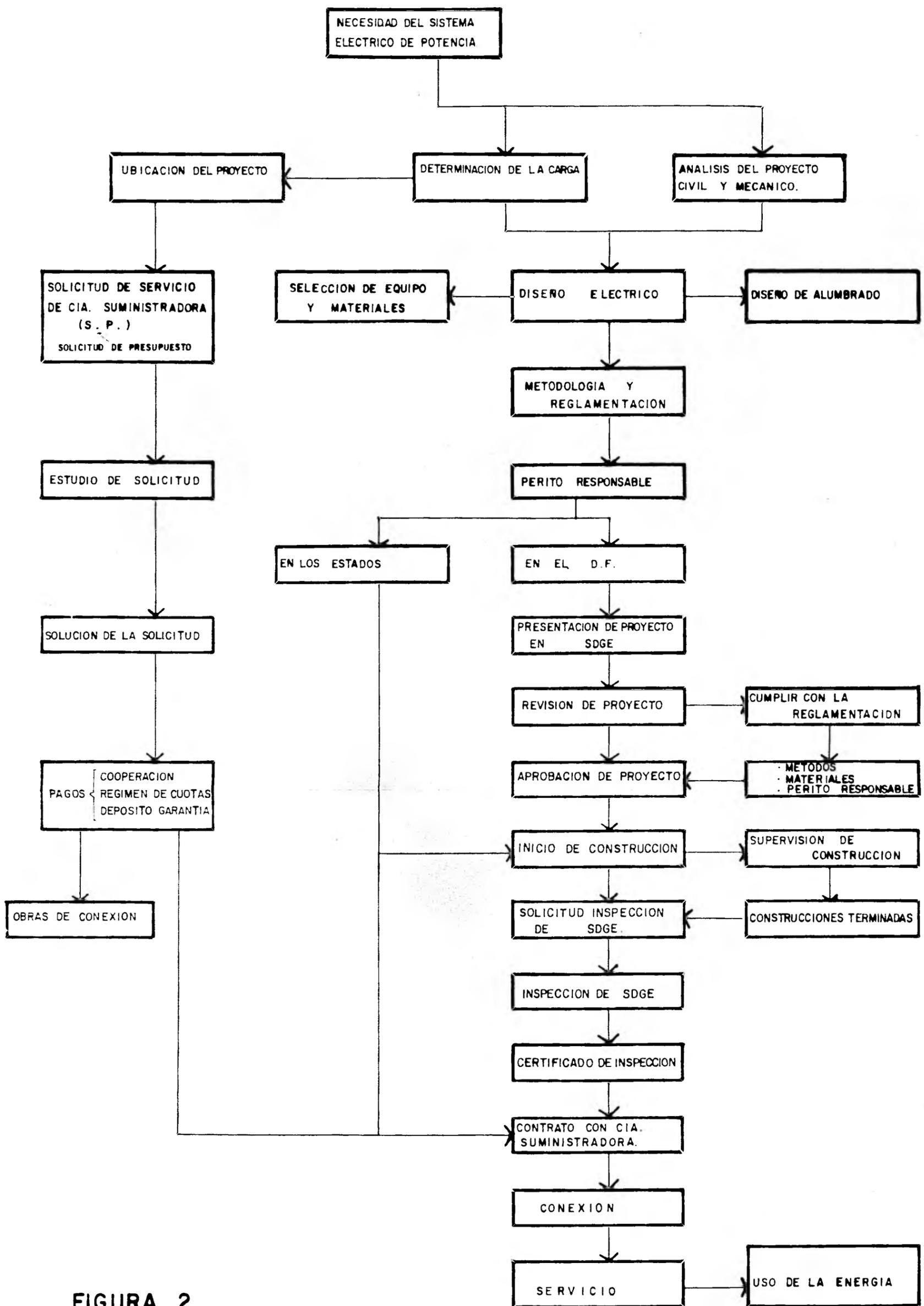


FIGURA 2

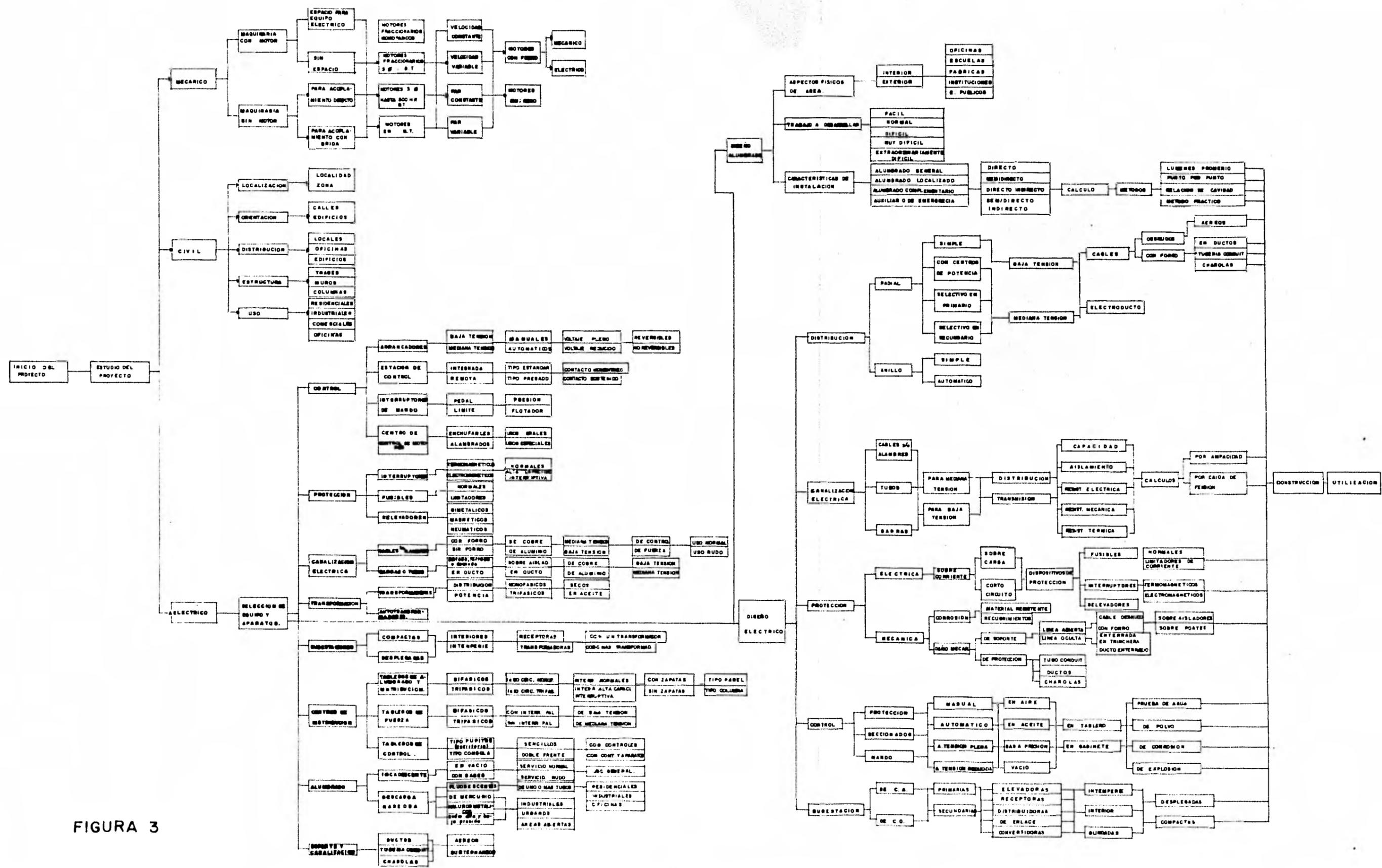


FIGURA 3

C A P I T U L O I I I

S I S T E M A D E I L U M I N A C I O N

III.1.- BASES TEORICAS.-

A) Luz y Visión.-

Naturaleza de la Luz.

Definición de la Luz.-

La luz forma parte de una parte de la energía denominada energía radiante.

La Illuminating Society of North América, define la luz como la energía radiante considerada de acuerdo a su capacidad para producir sensaciones visuales.

La luz se mide en una unidad llamada lumen-horas (lm-h); su símbolo es Q.

Al resultado de la luz incidiendo sobre una superficie se le denomina iluminación y se mide en luxes o en footcandles.

Al resultado de la luz al reflejarse (ya sea transmitida o emitida) de una fuente luminosa o una superficie se le denomina luminancia (Brillo fotométrico y se mide en lamberts ó (footlamberts)).

La luz tiene propiedades tales como la longitud de onda (λ) y frecuencia (f). Hay muchas aplicaciones en las cuales éstas características no son importantes por lo que la luz puede representarse simplemente por medio de una flecha que indique su dirección.

La velocidad de la luz (c) es aproximadamente 300,000 kilómetros por segundo al transmitirse en el aire o en el vacío.

Los científicos de hoy en día utilizan dos conceptos al explicar la naturaleza de la luz. Estas son la "teoría de las ondas electromagnéticas" y la "teoría del quantum". La teoría electromagnética nos dice que los cuerpos luminosos emiten luz bajo la forma de energía radiante que se transmite en forma de ondas electromagnéticas, y que estas ondas actúan sobre nuestra visión para producir la sensación de luz. La teoría del quantum nos dice que los cuerpos luminosos emiten energía radiante en forma de "grupos" los que son expulsados en línea recta sobre nuestra visión para producir la sensación de luz. El movimiento de la luz a través del espacio puede realmente explicarse mejor por medio de la teoría electromagnética.

El efecto de la luz sobre la materia (como por ejemplo, sobre la barrera de las capas de una celda fotoeléctrica de un medidor de luz del tipo celda de capas de barrera) se explica más fácilmente por medio de la teoría del quantum.

Imágen del Espectro Radiante.-

Además de la luz existen otras formas de energía radiante. A este grupo de energía se le denomina espectro de energía radiante.

La energía radiante viaja a una velocidad constante de aproximadamente 300,000 kilómetros por segundo en el aire o en el vacío.

La longitud de onda representa la distancia entre crestas de ondas adyacentes.

La frecuencia representa el número de ondas (o bien, de longitudes de ondas) que pasan por un punto determinado en un segundo. La unidad utilizada para medir la frecuencia se denomina hertz. (Hz).

La longitud de onda se expresa en varias unidades, dependiendo de la parte del espectro a la que se refiere o bien al sistema de unidades utilizadas; por ejemplo, las longitudes de onda de los rayos cósmicos se miden en picómetros mientras que las de líneas de transmisión de energía se miden en varios

cientos de metros o incluso kilómetros. La longitud de onda de la luz se mide en una unidad denominada nanometro (nm).

La energía radiante se mide en una unidad denominada watt-hora (Wh).

El flujo radiante se mide en unidades denominados watts. El flujo radiante se denomina también potencia radiante.

Espectro de la Luz Visible.-

Sir Isaac Newton realizó un experimento consistente en hacer pasar un rayo de luz a través de un prisma y descubrió con esto que la luz se descomponía en todos los colores del arco iris.

Estos colores no forman franjas definidas, sino que se mezclan unos con otros en forma continua; sin embargo, para facilitar su estudio cada color se divide arbitrariamente en una banda definida.

Los colores primarios de la luz de acuerdo con la teoría del color Young-Helmholz son el rojo, el verde y el azul.

Espectro Ultravioleta.-

La energía ultravioleta es invisible al ojo humano.

Una de las fuentes de rayos ultravioleta cercanos es el sol, pero existen fuentes de estos rayos hechos por el hombre para producir por entero el espectro ultravioleta.

Existen tres efectos principales que se producen en esta banda.

Espectro Infrarrojo.-

La energía infrarroja es invisible también al ojo humano, y también el sol es una fuente natural de esta clase de rayos. Otras fuentes son las lámparas incandescentes que radian hasta longitudes de onda del orden de 5,000 nm. La región comprendida desde 780 hasta 100,000 nm se denomina espectro infrarrojo.

Existen lámparas especiales para aplicaciones industriales y terapéuticas que emiten rayos de la región cercana del infrarrojo.

El Ojo Humano.

Estructura del Ojo.-

El ojo humano es un finísimo instrumento de preci-

sión, que puede compararse en muchos aspectos a una cámara fotográfica.

A continuación damos una tabla que compara los elementos del ojo con los correspondientes de una cámara:

| OJO | CAMARA |
|-------------|-----------------------|
| Esclerótica | Caja Exterior |
| Coroide | Recubrimiento Interno |
| Retina | Película |
| Iris | Diafragma |
| Pupila | Abertura |
| Párpado | Obturador |
| Cristalino | Lente. |

La descripción de las diferentes partes del ojo humano es como sigue:

Esclerótica.- Es la capa o cubierta exterior; es una sustancia firme, blanca y opaca. Es lo que da forma al ojo. Hacia el frente se vuelve transparente y esa parte de la esclerótica se denomina Córnea.

Coroide.- Es un como forro interno del ojo y consiste en una capa de vasos capilares, que sirven para nutrir y alimentar el globo del ojo. A la parte frontal de esta capa se le denomina iris, que es un diafragma de una cámara. Controla en forma automática la cantidad de luz que entra al ojo, por ejemplo, abriendo la pupila cuando la cantidad de luz ambiente es muy poca. La pupila es el agujero en el centro del iris, y corresponde a la apertura del obturador de una cámara fotográfica.

La Retina y sus Partes.- La retina constituye el forro interior del fondo del ojo; es la parte con la cual ve el ojo y corresponde a la película de una cámara fotográfica. Consiste en una capa delicada de tejido nervioso, en el cual existen unas terminaciones de fibras nerviosas denominados conos y bastones. La retina tiene su máxima capacidad de distinguir objetos, en la Fovea o mancha amarilla; la otra zona se denomina punto ciego y es donde los nervios entran al globo del ojo.

Conos. Existen varios millones de conos, que están más densamente situados cerca de la fovea o mancha amarilla, los conos realizan la función de visión diurna y son también responsables de que distingamos el color; la ceguera al color se debe a un funcionamiento inadecuado de los conos.

Bastones. Existen también millones de ellos, que están desparramados en toda el área comprendida entre la mancha amarilla y la periferia de la retina. Su función es primordialmente la visión nocturna o en relativa obscuridad. Los bastones nos sirven para detectar el color y son mucho más sensibles que los conos a la luz azul cuando el nivel de iluminación es bajo. Por esta razón se prefirió la luz de color rojo a la azul durante los apogones en la guerra.

Humor Acuoso.- Es una solución acuosa que existe entre la Córnea y el Iris.

Cristalino.- Está situado inmediatamente detrás de la pupila y suspendido y sostenido en su lugar por medio de fibras musculares. Es un cuerpo flexible, de capas múltiples y que tiene la forma de un lente, por lo que corresponde a la parte de igual nombre de una cámara fotográfica. Sin embargo, el cristalino es un dispositivo de enfoque automático, mientras que en la cámara el enfoque se logra moviendo el lente. El enfoque en el ojo se realiza por medio de los músculos del cristalino, que sirven para cambiar la forma de este lente. El ojo está normalmente en descanso cuando ve objetos a distancias de siete metros o más. Los ojos se acomodan y convergen sobre las imágenes cuando trabajamos o leemos a la distancia normal de unos treinta y cinco centímetros. Cuando esta actividad de convergencia se sostiene por largos períodos puede ocasionar una sensación de fatiga.

Humor Vitreo.- Se encuentra detrás del cristalino y llena todo el espacio restante dentro del globo del ojo. Es una masa gelatinosa cuyo propósito es trabajar en unión con el cristalino o para refractar o desviar los rayos de la luz de manera que lleguen a la fovea (O cerca de esta región para la visión nocturna).

Purpura Visual.- Es una sustancia fotoquímica que se encuentra en los bastones y que bajo la acción de la luz se decolora y descompone en una serie de productos.

Cómo se realiza nuestra Visión.-

Sigamos un rayo de luz. Cuando una radiación electromagnética de longitud de onda comprendida entre 380 y 780 nm pasa a través de la córnea, que es la capa transparente que protege el exterior del ojo, el rayo se dobla o refracta de la córnea y pasa a través de la pupila. La cantidad de luz que pasa a través de ella se controla automáticamente por medio de la contracción o expansión de la abertura de la pupila. La luz pasa a través de ella y del cristalino que enfoca los rayos en el humor vitreo sobre la superficie de la retina. Aquí es donde los bastones y conos entran en acción, y el proceso se convierte en uno de naturaleza electroquímica. Se generan así ciertas pulsaciones que se transmiten desde los conos y bastones hasta el nervio óptico que las lleva hasta el cerebro donde se interpretan como luz o bien donde causan la sensación de visión. El cerebro y el ojo operan así en la transformación de energía radiante en una sensación de visión.

Características de Visión del Ojo.-

Acomodación.- Se refiere a la actividad del cristalino para enfocar.

Adaptación.- Se refiere a los cambios fotoquímicos

en la sensibilidad de la retina a la luz. Esta habilidad es la responsable de que la retina pueda ser sensible a niveles de luz tremendamente distantes entre sí (El orden de 1'000,000 a 1).

Función del Iris.- Controla la cantidad de luz que entra al ojo dentro de ciertos límites que se encuentran en relación de 16 a 1.

Curva de Eficiencia del Espectro Luminoso.- Indica gráficamente la habilidad relativa del ojo para valorizar la energía radiante en las diferentes longitudes de onda del espectro visible. A esta curva se le llama también la de sensibilidad del ojo. El ojo tiene su sensibilidad máxima en 555 manómetros que constituye la porción amarillo-verdosa del espectro visible. La sensibilidad disminuye conforme la longitud de onda se acorta o se alarga en el ojo. Cuando se valúa el flujo radiante expresado en watts de acuerdo con la curva de eficiencia luminosa y se multiplica por una constante, el resultado es el flujo luminoso, que se expresa en lumens.

Efecto de Purkinje.- La curva de sensibilidad normal (fotópica) del ojo se basa en el efecto combinado de la visión con los bastones y los conos. Sin embargo a niveles muy bajos de iluminación, donde la luminancia es del orden de 0.01 a 0.001 footlanberts, ya no pueden funcionar los conos por lo que los bastones toman a su cargo el proceso completo de visión. Al entrar en acción únicamente los bastones (Visión escotópica) se vuelve efectiva una nueva curva de sensibilidad cuya forma es la misma que la normal, pero que se encuentra desplazada 50 nm hacia el extremo sur del espectro. A esto se le llama el efecto de Purkinje.

Campo Visual.- El campo visual normal se extiende aproximadamente a 180° en el plano horizontal y 130° en el vertical, 60° sobre la horizontal y 70° por debajo. La fovea subtien de un ángulo de cerca de 2° y esto constituye el campo central.

Los límites de este campo que se consideran más efectivos están normalmente comprendidos entre el límite exterior del campo central hasta un círculo aproximadamente a 30° del eje óptico.

Combinación de Luz y Visión.-

La luz y la visión son interdependientes.

Un Ojo Perfecto en absoluta obscuridad no es mas efectivo que un ojo ciego. A fin de recomendar y aplicar luz adecuadamente tanto la luz como la visión deben ser tomadas en cuenta.

Visión Cercana y Visión Lejana.- La distancia normal de visión en la cual el ojo está prácticamente en descanso es de 7 metros o más. Sin embargo, la mayor parte de las tareas desarrolladas por el ojo se llevan a cabo aproximadamente a 35 centímetros de distancia.

Objetos Grandes y Pequeños.- Muchas tareas del campo y del trabajo de leñadores y tramperos son trabajos relativamente simples para el ojo, comparados con la contabilidad, reparación de relojes, la costura o la lectura.

Horas con Luz de Día y Horas de Noche.- En la antigüedad, el día normal para la vida del hombre comprendía desde que el sol salía hasta que se ocultaba. Pero actualmente, después de un día normal de trabajo, el hombre continúa usando sus ojos a horas avanzadas de la noche y comúnmente bajo luz artificial, leyendo en casa, viendo películas y la televisión, manejando su coche a altas velocidades, y llevando a cabo otras múltiples tareas que involucran la visión. Por tanto, en la actualidad el ojo tiene muchas más horas de trabajo y menos de descanso.

Niveles de Iluminación Diurna y Niveles de Iluminación Eléctrica.- Los niveles de iluminación durante el día son cientos e incluso miles de veces mayores que los que se encuentran bajo condiciones de luz artificial. Estos niveles pueden valorarse por medio de un medidor de luxes o footcandles encontrándose los siguientes valores representativos:

Exteriores.-

A campo abierto, a medio día en el verano; 7,000 a 10,000 footcandles.

A la sombra de un árbol a medio día, aproximadamente 1,000 footcandles.

Día nublado, en cualquier estación, poco más de 200 footcandles.

Interiores.-

Aquí las lecturas en luxes o footcandles están en el extremo inferior de la escala. Los niveles encontrados en oficinas, fábricas, tiendas, escuelas y hogares están comprendidos entre 5 y 200 footcandles. Por tanto, vemos que al leer, estudiar y coser las condiciones de iluminación son muy inferiores en nivel a aquellas proporcionadas por la naturaleza aún a la sombra de un árbol.

El Cambio de los Ojos con la Edad.-

Cambios físicos (presbicia). A los 40 o más años de edad existe a menudo una disminución gradual en la elasticidad del cristalino, de manera que los músculos no pueden cambiar la forma del lente para una buena visión de cerca. Este defecto puede corregirse utilizando anteojos y un mayor nivel de iluminación ayuda grandemente a la gente de edad a ver mejor.

Elementos de la Visión.-

El ojo. Puede hacerse muy poco con nuestros ojos excep

to agudizar la visión por medio del uso de anteojos.

Luz
Objeto (tarea).

Factores Relativos a la Visibilidad de una Tarea.-

Tamaño.- Es una función de las dimensiones del detalle mínimo y la distancia del ojo a la tarea. Este factor se denomina mas adecuadamente tamaño visual.

Contraste.- Es la diferencia en luminancia entre el fondo y el detalle mínimo.

Luminancia.- Depende de la cantidad de luz reflejada por una superficie, o bien de la cantidad de luz emitida por una superficie. Este es el factor en la visión que puede controlarse fácilmente cambiando el nivel de iluminación.

Tiempo.- El fenómeno de visión no es instantáneo; una cantidad mayor de luz significa una visión más rápida. (Estudio Blackwell).

Este es el más moderno estudio para determinar la iluminación requerida a fin de obtener resultados óptimos en el trabajo visual.

Factores.-

Se desarrolla una técnica más refinada para medir el comportamiento visual.

Se obtuvieron nuevas curvas de luminancia contrastante. Este reporte introdujo el concepto de "capacidad visual" que se refiere a la velocidad a la cual el ojo es capaz de interpretar información visual y se llama Asimilaciones por Segundo.

Este reporte aclaró el concepto de limitaciones de respuesta, encontrándose en él que las medidas alcanzaban una barrera dictada más bien por las limitaciones en respuesta que por el ojo mismo.

A fin de ajustar las condiciones de laboratorios a las de la realidad, se utiliza un factor de multiplicación de 6.67.

Resultados.-

Se determinaron los valores de luminancia para diversas categorías de tareas visuales.

Los valores de luminancia se cambian a valores de iluminación en footcandles dividiendo el valor de luminancia entre la reflectancia de la tarea.

Interpretación.-

Se determinaron valores de luminancia para diversas ca-

tegorías de tareas visuales.

Los valores de luminancia se cambian a valores de iluminancia en footcandles dividiendo el valor de luminancia entre la reflectancia de la tarea.

Aplicación.-

El nivel máximo de iluminación se fijó de (30 bujías-pie) 320 luxes ya que a un nivel menor los ojos no enfocan con la agudeza necesaria y puede no existir convergencia exacta sobre un objeto.

Las recomendaciones de bujías-pie están dadas más bien para la tarea a desarrollar que para una área en general.

Las recomendaciones de bujías-pie se dan como un mínimo para la tarea en cualquier momento.

B) Diseño de la Iluminación.-

Generalidades.

La Iluminación como Ciencia.-

El Ingeniero de Iluminación puede considerar el diseño del alumbrado desde tres puntos de vista básicos: cantidad, calidad y costo.

Cantidad.- Esto se refiere e implica la aplicación de la iluminación.

La iluminación necesaria para poder ver.

Cantidad de (Bujías-pie) Luxes.

Distribución de bujías-pie Luxes.

La Iluminación necesaria para despertar interés y/o atraer la atención.

Métodos para calcular la iluminación:

Método de punto por punto (Aplicación de la Ley cuadrática inversa y la ley del coseno). Este método proporciona la iluminación directa sobre un punto, en el cual es despreciable la cantidad de luz reflejada.

Método de los lúmenes, Sistema de Cavidad Zonal, (Util en los cálculos para iluminación interior, donde la luz es reflejada por los techos, paredes y pisos). Este método proporciona la iluminación promedio.

Calidad.- Esta expresión se refiere al confort visual e involucra la luminancia y sus relaciones en un ambiente visual.

Reflectancia de superficies ambientales y de trabajo.
Luminancia y sus relaciones.

Otros factores que requieren tomarse en cuenta:

Sombras.

Propiedades de rendimiento de color de las fuentes luminosas.

Integración al diseño arquitectónico.

Fisiología y estímulo de los ojos.

Psicología y Percepción.

El confort visual puede valorizarse por medio de los métodos siguientes:

Cumplimiento de los criterios para limitar los reflejos a fin de evitar la incomodidad, además de las reflectancias de las superficies del local y los objetos en él colocados.

Costo.- El costo de la iluminación está considerado en el Análisis de Costos.

La Iluminación como un Arte.-

La luz y la iluminación son muy utilizados en la creación de efectos y ambientes que afecten y produzcan reacción en los sentidos.

Para lograr el efecto deseado, es necesario entenderlo a fondo y aplicar la experiencia aunada a un conocimiento de las posibilidades prácticas en el uso del color, las formas, sombras, texturas y profundidades.

Procedimiento Básico de Diseño.-

Pasos del Procedimiento de Diseño.-

Existen 15 pasos previos a la iniciación de los cálculos, que se muestran en tres grupos principales. Los pasos que siguen a éstos primeros 15 se encuentran en el Método de los Lúmenes - Sistema de Cavidad - Zonal, y en el Métodos de Punto por Punto.

Objetivos y Especificaciones.-

1.- Tarea Visual.- Las tareas visuales relativas a diferentes áreas, tales como oficinas, escuelas, industrias e instituciones, pueden encontrarse en el Manual de Iluminación de la IES, en todos los cuales se incluyen análisis de tareas visuales.

2.- Requisitos de Calidad.- Es necesario cumplir con ciertos requisitos visuales tales como las relaciones recomendadas de luminancia, la luminancia de las luminarias, los criterios de confort de las luminarias, los reflejos, y las variaciones permisibles de lámparas quemadas y las normas que influirán en los ciclos de limpieza y conservación. Estos requisitos varían con la aplicación.

3.- Requisitos de Cantidad.- La cantidad de iluminación adecuada en cada tarea visual puede encontrarse también en Manuales, Guías y Reportes. También deben considerarse las variaciones permisibles entre los niveles máximo y mínimo de iluminación, y el porcentaje tolerable de lámparas quemadas.

4.- Ambiente del Area.- Debe realizarse un cuidadoso análisis del ambiente en el cual operará el sistema de iluminación considerado. Esto debe incluir cosas tales como el que estén presentes polvo, vapor de agua, gases explosivos o vapores corrosivos etc.

5.- Descripción y Uso del Area.- Una descripción completa debe incluir: Las características físicas tales como las dimensiones del local, la reflectancia de sus superficies, localización de lugares y planos de trabajo, también las características de operación del sistema de alumbrado tales como las horas diarias

de operación, (horas por cada arranque en las lámparas fluorescentes) y horas de uso del sistema de iluminación al año.

6.- Selección de las Luminarias.- La selección del tipo de luminarias a usar en una aplicación dada, depende mucho de los requisitos y condiciones determinadas en los pasos 1 a 5 mencionados anteriormente. Deben examinarse primero todos los factores en detalle, y luego revisarlos a fin de asignarle a cada uno el valor que debe tener en la selección de las luminarias.

Factores no Recuperables en las Pérdidas de Luz.-

Una vez que se han determinado los hechos básicos acerca de la tarea visual, el área y la luminaria escogidas, podemos considerar el estudio de los factores de pérdidas luminosas. Los expresados a continuación son aquellos que usualmente están sujetos a una mínima corrección.

7.- Temperatura Ambiente de la Luminaria.- Las variaciones de temperatura, tanto arriba como abajo de las encontradas normalmente en interiores, tienen muy poco efecto en la producción luminosa de lámparas incandescentes y de descarga de alta intensidad, pero sí afectan la producción luminosa de las luminarias fluorescentes.

8.- Voltaje en la Luminaria.- La salida de la mayoría de las luminarias se verá afectada tanto por un voltaje mayor como por uno menor.

9.- Factor del Reactor.- Si el factor del reactor utilizado en una luminaria, ya sea fluorescente o de descarga de alta intensidad, difiere del utilizado en la fotometría real de la luminaria, la producción luminosa cambiará en la misma cantidad.

10.- Deterioro de la Superficie de la Luminaria.- Los cambios en los componentes metálicos plásticos e inclusive la pintura resultarán en una reducción del rendimiento luminoso.

Factores Recuperables de Pérdidas Luminosas.-

11.- Deterioro por Suciedad de las Paredes del Local.- El polvo y la suciedad en las superficies del local reducen la cantidad de lúmenes reflejados hacia el plano de trabajo. Para tomar esto en cuenta se han desarrollado tablas para proporcionar los factores de deterioro necesarios para calcular el mantenimiento de los niveles promedio de iluminación. Los factores de deterioro se determinan como sigue:

Encuéntrese primero el deterioro por suciedad que se espera utilizando los conceptos de Ambiente del Área expresados en el punto 4, el tiempo transcurrido entre limpiezas, y las curvas en las tablas dichas, sabiendo el deterioro por suciedad esperado, la distribución del tipo luminaria, y la relación de Cavidad del local, puede ya determinarse el factor de deterioro a partir de la tabla.

12.- Lámparas Quemadas.- Es muy importante determinar el número de lámparas que se espera se quemen antes del tiempo planeado para reemplazarlas, para lo cual es preciso consultar las estadísticas de mortalidad de los fabricantes; si las lámparas quemadas no se reemplazan rápidamente, el nivel promedio de iluminación decrecerá en forma proporcional.

13.- Deterioro de la Cantidad de Lúmenes.- Este factor toma en cuenta la proporción en la cual disminuye la salida de los lúmenes de una lámpara conforme transcurre el tiempo. Para ello puede utilizarse la tabla respectiva, pero es preferible recurrir a las especificaciones de los fabricantes o al Manual de Iluminación IES. La tabla proporciona los factores para las lámparas que están al 70 por ciento de su vida promedio; este nivel es el mínimo que se alcanza en una instalación en la cual se reemplazan rápidamente las lámparas quemadas, sin importar que esa reposición esté planeada en grupo o bien que exista un programa de reposición aleatoria, o conforme se vayan fundiendo las lámparas.

14.- Deterioro de las Luminarias por Suciedad.- Al acumularse el polvo y la suciedad en las luminarias se experimenta pérdida en la producción luminosa y en consecuencia también en el plano de trabajo. Esta pérdida se conoce como Factor de Deterioro por Suciedad en las lámparas y se determina como sigue:

Se selecciona la categoría de mantenimiento de la luminaria de acuerdo a los datos del fabricante.

Se determina el ambiente en el cual operará la luminaria (que puede ser una de cinco condiciones de suciedad), a partir del Ambiente del Area y la Tabla correspondiente.

A partir de la curva adecuada de la categoría de mantenimiento de la luminaria, la Curva Adecuada de Condiciones de Suciedad, y el tiempo transcurrido expresado en meses del Ciclo de Limpieza Programado, puede encontrarse el Factor de Deterioro por Suciedad.

15.- Factor Total de Pérdidas Luminosas.- Este factor Total es simplemente el resultado de multiplicar todos los factores que contribuyen a la pérdida luminosa, y que hemos descrito anteriormente.

C) Iluminación Industrial.-

Generalidades.-

Los principios básicos para un buen diseño de iluminación son los mismos que para cualquier otra área.

Las condiciones para el ambiente y la aplicación pueden imponer el uso de un determinado tipo de equipo de iluminación.

Las tareas visuales involucradas son de una gran variedad.

Pueden ser simples o complejas.

Diferentes características de los materiales.

El trabajo o plano iluminado puede ser horizontal vertical o un plano a cualquier otro ángulo, o bien, una combinación de éstos planos.

Ventajas de una Buena Iluminación en la Industria.-

Mayor exactitud y calidad del trabajo.

Una mejor calidad del producto.

Menos rechazo del producto.

Mayor producción.

Menos costo.

El ojo es capaz de ver en forma más rápida y con mayor detalle.

Tenemos la cámara como un ejemplo.

Los medidores e instrumentos se leen con mayor precisión.

Mayor velocidad al realizar el trabajo

Los empleados de mayor edad, aunque sean física y mentalmente competentes, pueden tener defectos en la vista y necesitar más luz y/o anteojos correctores.

El área industrial puede limpiarse con mayor facilidad.

Mejores faenas de limpieza.

El área parecerá más limpia y en mejores condiciones sanitarias.

Mejor utilización del espacio disponible. Más eficiente disposición de las líneas de producción y la maquinaria.

Mejor moral de los empleados.

Menos trabajos regresados.

Ayuda Psicológica para aumentar la producción.

Menos descuido.

Mayor seguridad y menos accidentes.

Factores de una Buena Iluminación.-

Cantidad.-

A fin de prescribir el nivel adecuado de iluminación para un área industrial, debe primero analizarse la tarea visual involucrada para determinar la cantidad y tipo de iluminación que proporcione la mejor visibilidad. El equipo de iluminación puede entonces seleccionarse para proporcionar la iluminación necesaria. La tarea visual de un área industrial se ve afectada por los siguientes factores:

Cuatro factores fundamentales que afectan la visibilidad:

Tamaño.

Luminancia.

Contraste.

Tiempo.

Definamos la influencia de:

Acabado del objeto: brillante, mate, liso, rugoso

Características de transmisión de la luz por los objetos:
opaco, translúcido, transparente.

Efecto tridimensional:

plano, con contornos, etc.

Características reflejantes de lo que lo rodea cerca.

Color de los objetos que lo rodean.

Condiciones de mantenimiento.

Difusión:

Cuándo se necesita y cuándo no se desea.

Existen tablas de niveles recomendados de iluminación que se encuentran en las referencias bibliográficas.

Calidad.-

El equipo de iluminación debe cumplir con los requisitos necesarios para obtener confort visual.

La calidad de un sistema de iluminación se ve afectada por los siguientes factores:

Luminancia de las luminarias.

Componente hacia arriba de la distribución luminosa de la luminaria.

Reflectancia del ambiente, incluyendo las del techo, paredes, pisos, máquinas y equipo.

Necesidad de calidad para asegurarse los beneficios descritos en Ventajas de una Buena Iluminación en la Industria.

El observar las relaciones recomendadas de luminancia trae consigo la calidad necesaria de iluminación.

Costo.-

El costo inicial es de menor importancia cuando el sistema de iluminación opera en forma continua.

Cuando el sistema de iluminación se utiliza solo en períodos cortos de tiempo, el costo inicial es muy significativo, debiendo considerarse un sistema incandescente.

Si existe un elevado costo de energía, se justifica el mayor costo tanto el equipo como de las lámparas; el análisis de Costos se ocupa en todas las consideraciones que debe incluir un análisis de ese tipo.

Elección de Equipo.-

La elección del equipo se ve afectada por los factores siguientes:

Altura de Montaje y Separación de la Iluminarias.-

Conforme se aumenta la altura de montaje, se necesitan menos fuentes luminosas a fin de obtener iluminación uniforme.

La separación de las luminarias depende del patrón de distribución de la fuente o luminaria.

Forma del Local.-

Las luminarias de forma ancha de distribución son adecuadas para aquellos locales que son anchos en comparación con la altura de montaje.

Las luminarias cuya distribución es estrecha son las más adecuadas para locales que son altos y estrechos.

Analizando la utilización de locales angostos (pequeños) y anchos (grandes), llegamos a las siguientes conclusiones:

Los locales pequeñitos utilizan la luz en forma menos eficiente.

Los locales grandes son mas eficientes para utilizar la luz.

Rendimiento de Color.-

Hay lugares en los que el rendimiento de color es importante, y otras en que no lo es tanto.

Limpieza del Local.-

En locales donde se encuentran aceite y humo, vapor, suciedad y polvo, etc., tales como fundiciones, es donde menos se utiliza el equipo de iluminación durante cortos períodos de tiempo.

Luminancia y Distribución de las Luminarias.-

Consideraciones:

Blindaje. Las luminarias deben blindarse en las áreas de producción hasta por lo menos 25° sobre la horizontal, y preferentemente hasta 45° por debajo de la horizontal.

Características de las áreas de reflexión.

Medios de refracción.

Luminarias para Propósitos Especiales o en Lugares y Atmosferas Peligrosas.-

A prueba de polvo.
A prueba de vapor.
A prueba de explosión.

Tipos de Sistemas de Iluminación.-

Iluminación General.- Se utiliza donde se necesite un nivel uniforme de iluminación que esté dentro de los límites prácticos sobre toda el área iluminada.

Áreas con nave alta (altura de montaje de 7.5 o más metros).
Áreas altas y angostas.
Áreas altas y anchas.
Áreas de naves bajas (altura de montaje menor de 7.5 mts).

Iluminación General Localizada.- Si no se necesita contar con una iluminación uniforme en toda una área, este tipo de disposición para las luminarias puede algunas veces ser ventajoso, siempre y cuando proporcione suficiente luz para los propósitos necesarios en pasillos y corredores, y para el mantenimiento de relaciones de luminancia satisfactorias en todo el local.

Iluminación Suplementaria.- Sirve para proporcionar iluminación donde la general no tiene nivel suficiente para labores difíciles de inspección o visión especial.

Superficies Iluminadas.-

Superficies especulares con fondo difuso o mate.
Superficies difusas con fondo difuso.

Superficies difusas con fondo especular.
Superficies especulares con fondo especular.
Materiales translúcidos y transparentes.

Técnicas de Iluminación.-

Luz polarizada
Luz estroboscópica.
Luz negra.
Luz Monocromática.
Magnificador iluminado.
Igualación e identificación de colores.

Mantenimiento.-

Debe establecerse un sistema definido de mantenimiento.

El deterioro de los niveles de iluminación se debe en parte a:

Polvo y suciedad dentro y sobre el equipo de iluminación.
Deterioro de las fuentes luminosas.
Deterioro de las superficies alrededor de las luminarias.
Accesibilidad del equipo de iluminación.
Ambiente alrededor del equipo de iluminación.
Humos, vapores y emanaciones.
Suciedad.
Condensación.
Limpieza de las ventanas.
Reposición de lámparas por grupos.
Las luminarias ventiladas tienen las siguientes ventajas:
Diferencia de luminancia reducida entre la luminaria y lo que la rodea.
Menor tendencia a recolectar polvo y suciedad.
Esto implica un aumento en el factor de mantenimiento.

D) Análisis de Costos.-

Aspecto Económico de las Lámparas.-

Para producir y utilizar la luz en la forma más satisfactoria y económica, deben considerarse los siguientes aspectos:

- Eficiencia luminosa de la lámpara.
- Costo de la electricidad.
- Costo de la lámpara y su reemplazo (mano de obra y materiales).

Costo de Producción de la Luz.-

Cálculo del costo de la luz.

$$\text{Costo por Millón de Lúmenes-Hora (Pesos)} = \frac{1000}{\text{Eficacia}}$$

$$\frac{\text{Costo de la lámpara}}{\text{Watts x duración}} + \text{Costo de Kw-hr}$$

$$\frac{1000}{K} + \frac{P}{WL} + R$$

donde:

- K = Los lúmenes por watt promedio a lo largo de la vida de la lámpara.
- W = Promedio de watts consumidos a lo largo de la vida de la lámpara (incluyendo los auxiliares).
- L = Duración promedio de la lámpara, expresado en miles de horas.
- P = Costo neto de cada lámpara entregado en su receptáculo, expresado en (pesos).
- R = Costo de energía eléctrica, expresada en pesos por kilowatt - hora.

Vida Util.-

Se determina a partir de la curva de mortalidad.

De acuerdo con la vida estimada, el 50% restante de las lámparas entregan solo de seis a ocho por ciento de lúmenes - hora adicionales.

Reemplazo de Grupo.-

Es económico quitar de servicio las lámparas cuando alcanzan el punto donde el costo de energía consumida por millón de lúmenes - hora excede substancialmente el costo promedio de luz producida hasta ese momento, incluyendo tanto lámparas como energía.

Esto adquiere mayor importancia donde existe un gran número de lámparas funcionando el mismo número de horas al día a voltaje uniforme en el receptáculo.

Donde existen grupos de lámparas dispuestas en esa forma,

es preciso disponer de facilidades especiales para cambiarlas.

Inversión y Costos de Operación de un Sistema de Iluminación.-

Siempre que se seleccione un sistema de iluminación, el costo es un factor de consideración.

Es muy deseable realizar los análisis de costos con métodos uniformes; al comprar varios sistemas todos ellos deben proporcionar aproximadamente el mismo ambiente de comodidad.

III.2.- PROYECTO DE ALUMBRADO.-

A) Objetivo.-

Estudiar la versatilidad y aplicaciones de diferentes equipos de iluminación para ayudar a normar criterios sobre bases técnicas sólidas, que permitan obtener el mejor resultado en el diseño y ejecución de proyectos de alumbrado.

Para ello se efectúa un análisis de los factores más importantes, como son el tipo de lámparas, los métodos de cálculo de alumbrado, métodos de alumbrado y costos.

B) Generalidades.-

Para hablar de alumbrado, es necesario definir en primer término dicho concepto, entendiéndose por ello el hecho de disponer de cantidades convenientes de luz en áreas determinadas de trabajo o actividad, en tal forma que las mismas puedan llevarse a cabo fácilmente conforme al requerimiento humano de apreciar por medio de la vista, lo que a su alrededor se encuentra o acontece.

Conforme al criterio moderno existente, tendiente a establecer sistemas de iluminación convenientemente diseñadas, para lograr los objetivos perseguidos mediante la instalación del sistema, deben considerarse aspectos fundamentales en toda área, tales como:

- 1.- Comodidad visual.
- 2.- Seguridad y protección de personas, sistemas y equipos.
- 3.- Continuidad en operaciones y trabajo.
- 4.- Facilidad de mantenimiento.
- 5.- Economía propia del sistema por instalación y operación del equipo de iluminación.

No sólo deben ser objeto de preocupación las áreas activas de una industria, sino todas aquellas cuyas condiciones en una u otra forma constituyen parte importante de la misma, esto es áreas en las cuales se cuenta con equipos, áreas adyacentes al cuerpo de la industria o secciones que en un momento dado pudieran presentar condiciones de inseguridad Vg; acceso o intromisión de intrusos a las instalaciones, etc.

C) Definiciones.-

Los términos que a continuación se definen son los comúnmente empleados

Definición de Términos.-

Candela.-

Unidad de luz. Es la luz emitida por una fuente luminosa tomada como patrón internacional.

Candela Potencia (I).-

Unidad que define la intensidad de fuerza con que es emitida la luz en una dirección determinada. En el sistema inglés se le conoce como "candle power" y es la intensidad de la luz emitida por una candela en línea recta sobre un plano horizontal.

$$I = E \times D^2 \quad \text{MSCP} = \frac{L}{12.57}$$

I = Intensidad en candelas potencia (candle power).

E = Nivel de iluminación en luxes (foot candle) en un punto ubicado a una distancia D con respecto a la fuente luminosa.

D = Distancia de la fuente luminosa a un punto determinado en metros (pies).

L = Lumens.

MSCP = Valor promedio de la intensidad con que es emitida la luz por una fuente luminosa, en todas direcciones.

12.57 = 4 (estereo radián)

Lumen (F).-

Unidad de flujo luminoso. Es la cantidad de luz emitida por una candela y que pasa por un sector de superficie de valor unitario, de una esfera imaginaria de radio igual a la unidad y en cuyo centro se encuentra la candela. (Al sector de le denomina estereo radian).

F = E x A (Lumens incidentes en una superficie).

F = F_{1b} x A (Lumens emitidos o reflejados por una superficie).

F = MSCP x 12.57

A = Area en m² (ft²)

F_{1b} = Foot lamberts.

Lux - Foot Candle (E).-

Unidad que define el nivel o densidad de iluminación. Es la cantidad de luz incidente en un punto en dirección perpendicular a la fuente y a una distancia cuyo valor es la unidad de longitud.

$$E = \frac{I}{D^2} \quad \text{Ley que define la iluminación en un punto. Es inversamente proporcional al cuadrado de su distancia.}$$

$$E_h = \frac{I}{D^2} \cos \theta \quad E_h = \text{Componente horizontal (vector)}$$

$$E_v = \frac{I}{D^2} \sin \theta \quad E_v = \text{Componente vertical}$$

$$E = \frac{F}{A}$$

Candelas / Inch² o Foot Lambert.-

Unidad de brillo (conocido también como luminancia), define la intensidad luminosa reflejada por una superficie en una dirección determinada y por unidad de área proyectada de esa misma superficie perpendicularmente al observador o punto considerado. Hay que recordar que el ojo humano no aprecia cantidades de luz si ésta no es reflejada por un cuerpo. El brillo es independiente de la distancia.

El lambert viene a ser un lumen por cm² emitido por una superficie difusa de brillo uniforme en una dirección determinada-

$$B = F \times r \quad r = \text{Factor de reflexión}$$

Equivalencias;

$$F_c = 10.765 \text{ lux}$$

$$1 \text{ candela por pulgada cuadrada} = 0.486 \text{ lamberts}$$

$$1 \text{ lambert} = 929 \text{ lambert - pie}$$

$$1 \text{ lambert} = 2.054 \text{ candelas por pulgada cuadrada.}$$

D) Áreas no Peligrosas.-

a) Definición.-

Tomando en consideración que en una industria cualquier lugar eventualmente puede considerarse peligroso, debe entenderse por áreas no peligrosas aquellas en cuyo ambiente la acumulación de elementos determinados no presenta riesgo o posibilidad de ser afectados por la operación de equipos cuya clasificación sea apropiada para usos generales.

Quedan por lo mismo fuera de consideración en este tema los equipos cuya designación particular no esté comprendida en las siguientes:

- a.1) Para usos generales en interiores (NEMA 1)
- a.2) A prueba de goteo en interiores (NEMA 2)
- a.3) A prueba de interperie (NEMAS 3, 3R y 3S)
- a.4) A prueba de agua y polvos en interiores (NEMAS 4 y 4X)
- a.5) Sumergibles, a prueba de agua, polvos y congelación en interiores y exteriores (NEMA 6)
- a.6) Para uso industrial, resistentes al polvo y goteo en interiores (NEMA 5 y 12)
- a.7) A prueba de aceite y polvos en interiores (NEMA 13).

b) Clasificación de áreas.-

Se identifican dos grandes grupos principales.

- 1.- Áreas interiores.
- 2.- Áreas exteriores.

Estos a su vez aceptan diversas clasificaciones algunas de las cuales se dan en el cuadro correspondiente.

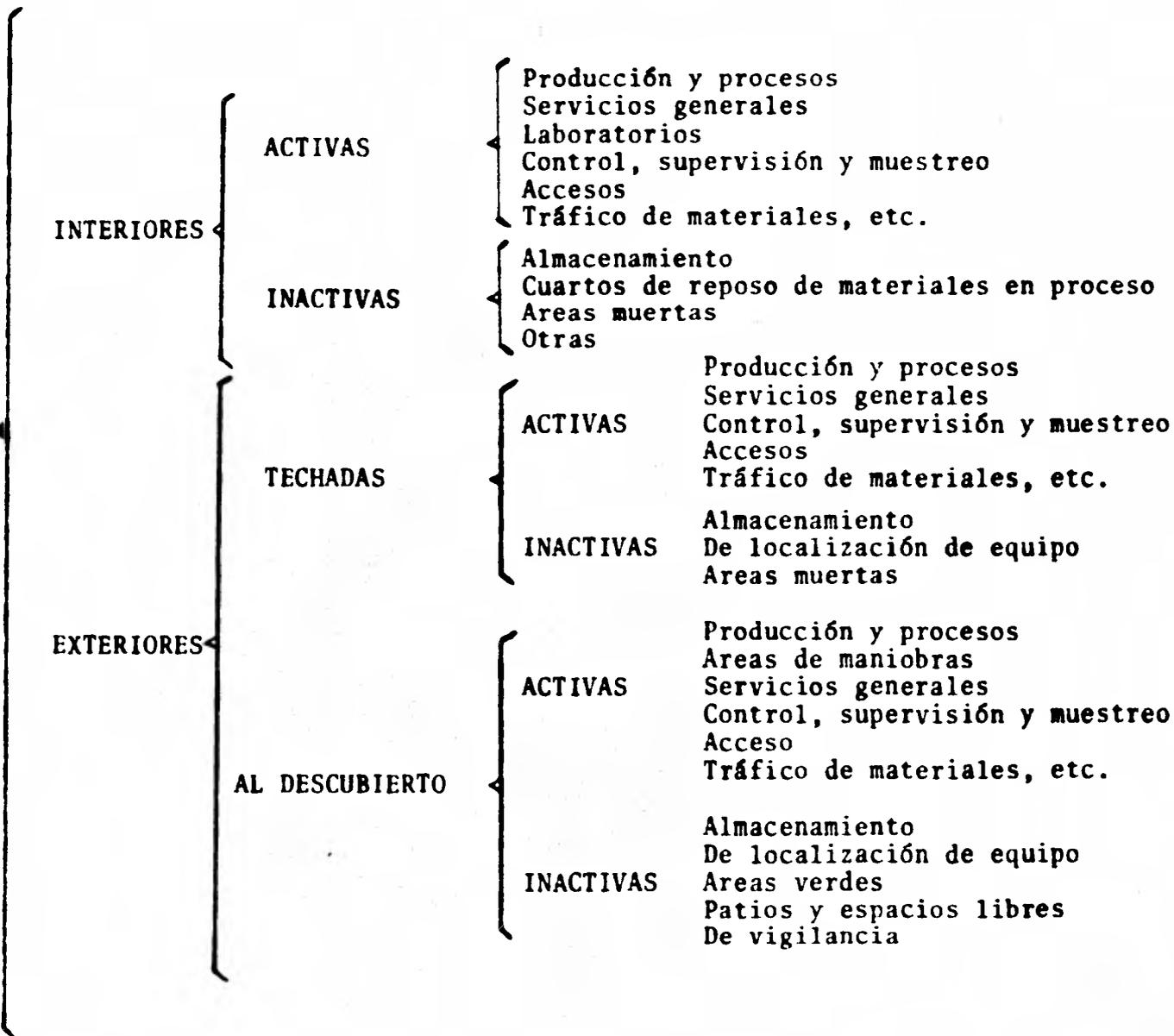
c) Niveles de Iluminación recomendados.-

Conforme a las diversas clasificaciones anteriores y tipo de labores desarrolladas, la Sociedad de Ingenieros en Iluminación A. C., (Illuminating Engineering Society Mexico Chapter) ha publicado los niveles de iluminación recomendables para diferentes actividades, tomando en consideración estudios efectuados por diversos institutos de investigación.

Los valores indicados son apropiados para satisfacer las necesidades de nuestro medio en condiciones ambientales normales y para

CLASIFICACION GENERAL DE AREAS NO PELIGROSAS

AREAS
NO
PELIGROSAS



ello se han promediado los valores necesarios de iluminación, para las diversas personas de diferentes edades, etc., que se supone desarrollan actividad en tales lugares.

A continuación se enlistan algunos de dichos niveles.

Niveles de Iluminación.-

| | |
|-------------------------------------|----------------------|
| Aplicaciones especiales | (25,000 - 10,000 Lx) |
| Areas de trabajo visual muy severo | (10,000 - 5,000 Lx) |
| Areas de trabajo visual muy difícil | (5,000 - 2,000 Lx) |
| Areas de trabajo visual difícil | (2,000 - 1,000 Lx) |
| Areas de trabajo visual ordinario | (1,000 - 300 Lx) |
| Areas de trabajo visual sencillo | (300 - 150 Lx) |

NOTA: En el apéndice se detallan los niveles publicados por el I. E. S. (México Chapter).

d) Necesidades del Alumbrado.-

El alumbrado de áreas en general resuelve básicamente la problemática de iluminar correcta y adecuadamente dichas áreas con la cantidad de luz suficiente para permitir las actividades creadas por el hombre en condiciones óptimas de seguridad.

La solución de estos problemas ha favorecido el desarrollo industrial, mismo que a su vez requiere cada día mejores sistemas de alumbrado.

Puesto que la necesidad del alumbrado debe considerarse como factor indispensable en la industria, no es sencillo determinar el sistema de iluminación óptimo a menos que se cuente con los conocimientos e información suficiente al respecto, ya que por la rapidez con que ha evolucionado la técnica, se requiere en muchos casos el asesoramiento de especialistas.

Como ejemplo de lo anterior mencionamos la aparición constante en el mercado de nuevas y mejores fuentes luminosas, luminarias y accesorios.

Debe apreciarse que los mejores proyectos traen consigo ventajas adicionales generalmente ignoradas, tales como:

- 1.- Incremento en la productividad en un 7 a 10%.
- 2.- Reducción de la fatiga visual en un 4%.
- 3.- Disminución de rechazos y desperdicios hasta en un 20%.
- 4.- Disminución de accidentes de trabajo cuando menos en un 4%.

En todos estos casos los porcentajes son valores promedio y se han obtenido sobre la base de un aumento mínimo en un 10% del

| Descripción del Area: | Porcentaje de personas que deben tener visibilidad confortable: | Clasificación: |
|---|---|----------------|
| Areas de trabajo para el cual se presentan serias dificultades, requiriendo grandes cantidades de luz (más de 10,000 lúx). | 90% | A |
| Areas de trabajo para la elaboración de productos de calidad y en las cuales la brillantez de los alrededores puede afectar la visibilidad. | 75 a 90% | B |
| Areas de trabajo para los cuales se presente dificultad relativa en períodos intermitentes vg: clases de escuela, oficinas, salones de dibujo, etc. | 50 a 75% | C |
| Areas de trabajo fácil que esporádicamente requieran fijar la vista. | 25 a 50% | D |
| Areas de trabajo ocasional para el cual no se requiera fijar demasiado la vista. | 5 a 25% | E |
| Areas que no sean de trabajo, tales como accesos, pasillos, etc. | 5 % | F |

valor inicial del nivel de iluminación en las industrias donde se hizo la prueba para cuantificar dichos factores.

(Valores estadísticos publicados por Phillips en el No. 45 de su revista internacional de luminotécnica. Resultados del estudio efectuado por el Dr. E. Jacob del Centro de Estudios de alumbrado de Wiesbaden República Federal de Alemania).

A continuación se da una tabla de clasificación de áreas conforme al confort visual requerido.

Se hace notar que el porcentaje de personas con visibilidad confortable es el mínimo aceptable en tales condiciones. Las clasificaciones altas permiten mayor calidad y mejores resultados.

E) Fuentes Luminosas.-

1.- Antecedentes y desarrollo de las fuentes luminosas.-

Fuente luminosa es toda materia capaz de emitir luz, ya sea por autoemisión (iridiscencia) o bien por transformación de alguna de las formas de energía en luz (fenómeno entrópico).

Puede decirse o entenderse que al hablar de fuentes luminosas nos referimos al término foco o lámpara (esta última empleada por su equivalencia en el idioma inglés) y que el desarrollo de éstas ha sido el factor predominante de la evolución de los elementos con que operan conjuntamente y que se definen más adelante.

Por esto y por la importancia que ello implica a continuación se da un cuadro que sintetiza la historia y evolución de las mismas:

| <u>FUENTE LUMINOSA</u> | <u>AÑO</u> | <u>EFICIENCIA LUMINICA</u> <u>Lumen/Watt</u> |
|-----------------------------------|----------------|---|
| Candela | | 0.1 * |
| Lámpara de Aceite | | 0.3 * |
| Lámpara de Carbón | 1879 | 1.4 |
| Lámpara Incandescente | 1905-1953-1971 | 4.0 a 21.8 ** |
| Lámpara de Arco | 1953 | 55.0 |
| Lámpara Fluorescente | 1953-1971 | 63.0 a 70.0 *** |
| Lámpara Mercurial | | 63.0 a 75.0 *** |
| Lámpara Cuarzo Iodo Incandescente | 1958 | 24.0 |
| Lámpara de Aditivos Metálicos | 1964 | 90.0 |
| Lámpara de Sodio | 1953-1967 | 110.0 a 125.0 *** |

* Valor equivalente

** Según tipo de filamento

*** Según tipo.

Se hace notar que siendo la electricidad la forma de energía que presenta mejores condiciones para su transformación en energía lumínica, la meta trazada por la investigación al respecto ha sido el conseguir mayor cantidad de luz emitida por watt de consumo, es decir, que se pretende suprimir otras formas de energía inaprovechables durante la conversión de energía eléctrica a energía lumínica a excepción de casos como el de lámparas solares cuyo objetivo principal es distinto al de producir luz en los cuales inclusive, la luz podría considerarse como pérdida de energía inherente. Este aspecto debe tomarse en cuenta en el diseño de equipos y proyectos, para áreas de tipo peligroso.

2.- Características de Diversos Focos o Lámparas.-

Como puede apreciarse en el cuadro, existen diversos tipos de focos que de acuerdo con la naturaleza o principio de los mismos, requieren en algunos casos dispositivos auxiliares que permiten su correcta operación y encendido.

| EFECTOS DE LA LUZ COLOREADA EN LOS OBJETOS DE COLOR | | | | |
|---|------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| COLOR DEL OBJETO | CON LUZ ROJA | CON LUZ AZUL | CON LUZ VERDE | CON LUZ AMARILLA |
| BLANCO | Rosa claro | Azul muy claro | Verde muy claro | Amarillo muy claro |
| NEGRO | Negro rojizo | Negro azulado | Negro verdoso | Negro anaranjado |
| ROJO | Rojo brillante | Rojo azulado obscuro | Rojo amarillento | Rojo brillante |
| AZUL OBSCURO | Púrpura rojizo obscuro | Azúl brillante | Azúl verdoso obscuro | Púrpura rojizo claro |
| AZUL CLARO | Azúl rojizo | Azúl brillante | Azúl verdoso | Azúl rojizo claro |
| VERDE | Verde aceituna | Verde verdoso | Verde brillante | Verde amarillento |
| AMARILLO | Naranja rojizo | Marrón rojizo claro | Amarillo verdoso claro | Naranja brillante claro |
| MARRON | Rojo marrón | Marrón azulado | Marrón aceitunado claro | Naranja marrón |

F) Balastos.-

Debido al empleo de unidades con lámparas de arco (principalmente de vapor de mercurio en alta o baja presión) uno de los componentes con que nos encontramos frecuentemente, es el denominado balastro, que se define como el dispositivo necesario para regular la cantidad de corriente solicitada por la fuente luminosa cuya característica de operación es la de una resistencia de tipo negativo, lo cual implica la necesidad de limitar la cantidad de energía suministrada al valor nominal de diseño de la misma.

Por lo mismo para cada tipo de foco o lámpara de arco se especifican siempre sus características de operación, en tal forma que a cada uno corresponde uno o más diseños de balastro capaces de operarla. La designación reactor viene a ser aplicada en casos por razón misma de su naturaleza, esto es, por existir un embobinado o reactancia inductiva a más de complementarse (casi siempre) de reactancias capacitivas. En función de las características de diseño de las fuentes luminosas y del balastro, se encuentra una gran variedad de equipos. La selección apropiada de ellos depende del criterio del proyectista, de las limitaciones económicas, y de la disponibilidad que se tenga en el mercado.

G) Control de la Luz.-

La medida de la luz es materia de la Física y se le denomina Fotometría.

Se define la luz como el fenómeno ondulatorio de propagación de una forma de energía, cuya longitud de onda permite o hace factible la visibilidad de objetos o materias en los cuales incide, se refleja o difunde.

Los principios de que nos valemos para controlar y dirigir la luz son los siguientes:

- 1.- Reflexión
- 2.- Difusión
- 3.- Refracción
- 4.- Absorción
- 5.- Polarización

Para iluminación de áreas industriales, los cuatro primeros principios son de vital importancia, definiéndose como a continuación se indica:

1.- Reflexión.-

Es el fenómeno físico mediante el cual un rayo de luz proyectado en un punto de una superficie es a su vez proyectado en una dirección determinada. Este principio sirve para definir las características necesarias que debe tener una luminaria. Vg: grado de brillantez del reflector, material y forma del mismo.

2.- Difusión.-

Es el fenómeno mediante el cual un rayo de luz se descompone al pasar de un medio a otro de diferente densidad, en otros a su vez de menor intensidad y en diferentes direcciones. Principio útil en el diseño de lentes o difusores comunmente usados en equipos de iluminación.

Estos dos principios normalmente son la base de diseño de los equipos de iluminación.

3.- Refracción.-

Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro de diferente densidad conservando su intensidad inicial sin descomponerse en otros, se dice que el rayo se refracta. Se toma en cuenta en el diseño de lentes o difusores conjuntamente con el anterior.

4.- Absorción.-

Es el fenómeno físico por el cual un cuerpo o materia absorbe energía de un rayo luminoso incidente en él. El color de los cuerpos se determina en función de la cantidad de energía que absorben. Debe tenerse en cuenta en el diseño de todo proyecto en la selección de los materiales componentes de un reflector y difusor.

5.- Polarización.-

Es el fenómeno físico mediante el cual un rayo de luz se descompone en una o más componentes en una dirección determinada.

En el caso de equipos de iluminación, se hace imprescindible contar con reportes fotométricos que muestren el comportamiento lumínico de la unidad. Dichos reportes son fundamentales para la ejecución de proyectos y se presentan en diversas formas de acuerdo con el tipo de equipo de que se trate y la aplicación de los mismos. En sí todos los reportes se basan en un mismo principio y de acuerdo con su naturaleza pueden descomponerse en otros a su vez más o menos elaborados que faciliten su aplicación en el cálculo o diseño de proyectos.

H) Tipos de Lámparas.-

Por la importancia que tiene el mejor conocimiento de los equipos disponibles para la elaboración de un proyecto, en este punto se definen las partes de que se componen, lo cual ayudará a la correcta selección de los mismos.

Dado que para un mismo proyecto pueden existir diferentes soluciones, según el equipo seleccionado, se hace notar que de todas ellas habrá una que por sus características óptimas debe considerarse como la mejor. Para llegar fácilmente a tal conclusión, debe tomarse en cuenta que no obstante lo anterior, siempre habrá un equipo especialmente indicado para cada caso, y éste será aquel que presente mayor flexibilidad en sus características, como pueden ser las siguientes:

- 1.- Que permitan en un mismo tipo dos o más patrones fotométricos, es decir, dos o más modelos del mismo tipo.
- 2.- Que tales modelos se tengan disponibles para diferentes tamaños de lámpara.
- 3.- Que permitan tener varios componentes, capaces de operar con diferentes tipos de lámparas del mismo género.
- 4.- Que permitan diferentes arreglos de sus componentes, vg; con balastro integral o remoto.
- 5.- Que puedan ser usados satisfactoriamente, bien sea en forma aislada o en combinación con otros del mismo o diferente tipo.
- 6.- Que sus características eléctricas presenten la posibilidad de adaptarse a diferentes sistemas, vg; dualidad en el voltaje por medio de taps, e inclusive de frecuencia.

Los principales tipos de lámparas son los siguientes:

a) Lámparas Incandescentes.-

Consisten de un filamento generalmente de tungsteno, con un punto de fusión muy alto, por el cual se hace pasar una corriente eléctrica que se transforma al calentarse el filamento en energía calorífica, la cual a su vez emite radiaciones luminosas.

Este filamento va dentro de una ampolla de vidrio, que se utiliza para contener el vacío o la atmósfera de gas inerte en el que opera el filamento.

Dentro de ella están también numerosos reflectores internos de diversos acabados, que sirven para alterar la emisión lumínica de la lámpara en alguna forma.

b) Lámparas Fluorescentes.-

Las lámparas fluorescentes consisten básicamente en un tubo de vidrio recubierto en su parte interna con un material fluorescente, el tubo contiene con una mezcla de gases argón ó neón y una pequeña cantidad de mercurio.

En los extremos del tubo se encuentran los electrodos unidos al tubo y las bases, estas le sirven como apoyo y conexión al circuito.

Se utilizan dos tipos de electrodos, los de cátodo frío y los de cátodo caliente.

Las lámparas de electrodos de cátodo caliente constan de dos filamentos, que al calentarse, liberan electrones, estableciéndose un arco eléctrico entre ellos por medio de los cuales se tiene un choque continuo de electrones que producen energía luminosa.

Se requiere la utilización de equipos auxiliares, como arrancador y reactor, para el buen funcionamiento de las lámparas de cátodo caliente, ya que se necesita limitar el voltaje y corriente de la línea de alimentación, al voltaje y corriente específicos para cada lámpara.

Las lámparas fluorescentes de cátodo caliente se clasifican en:

1.- Lámparas precalentadas, que utilizan un circuito de arranque a fin de precalentar los electrodos.

2.- Lámparas de arranque instantáneo, en las que el circuito de arranque se elimina, al utilizar un reactor que proporciona un mayor voltaje de arranque que permite a los electrodos arrancar en frío.

3.- Lámparas de arranque rápido, que funcionan con una combinación del sistema de precalentamiento y el de arranque instantáneo.

Las lámparas de electrodos de cátodo frío, consisten en un tubo de níquel o de hierro puro; su superficie interna está cubierta con un material emisor de electrones. Los electrones se sujetan a voltajes mayores, dejando escapar electrones a temperaturas bajas; este tipo de lámparas no está muy estandarizado ya que requiere circuitos especiales de alto voltaje.

c) Lámparas de Descarga de Alta Intensidad.-

c.1) Lámparas de Mercurio.-

Los tipos más comúnmente usados están contruidos a base de dos bulbos, uno exterior a manera de cubierta, y otro interior que es el tubo de arco. El tubo de arco fabricado de cuarzo, contiene el arco propiamente dicho, vapor de mercurio, los electrodos y una pequeña cantidad de gas argón.

El bulbo exterior llenado comúnmente de nitrógeno, sirve para proteger el tubo de arco contra el deterioro y la corrosión atmosférica. También regula la temperatura de funcionamiento del tubo de arco y actúa como filtro para absorber la radiación ultravioleta.

Se necesita un balastro de tamaño y tipo adecuado para que la lámpara de vapor de mercurio funcione en cualquier circuito eléctrico regular, o sea que el voltaje de distribución se ajuste al voltaje que se requiere para encender y controlar la corriente durante sus funcionamientos.

Cuando el voltaje de arranque del balastro es aplicado a través de los electrodos de operación, situados en los extremos opuestos del tubo de arco, y también a través del electrodo de ionización y de arranque, el gas argón y el vapor de mercurio se ionizan y se establece una descarga entre los electrodos de operación, lo que vaporiza más mercurio calentándose rápidamente la lámpara, hasta alcanzar una condición estable.

La potencia de estas lámparas fluctúa entre los 40 y 1 500 Watts.

c.2) Lámparas de Vapor de Sodio Alta Presión.-

Su funcionamiento se basa en el mismo principio que las lámparas de vapor de mercurio. La diferencia consiste en la construcción del tubo de arco que es largo y esbelto se fabrica con cerámica de óxido de aluminio policristalino, debido a que este material es altamente resistente al efecto corrosivo del sodio a alta temperatura, ya que tampoco contiene impurezas ni pequeños poros, es translúcido y adecuado para la transmisión y generación de luz, aproximadamente en un 95% de la longitud de onda de luz visible.

La característica más importante es su gran eficiencia, esto es, la eficiencia inicial de la lámpara es más del doble que la lámpara de vapor de mercurio, a potencia equivalente.

c.3) Lámparas de Haluros Metálicos.-

Las lámparas de haluros metálicos, tienen el mismo principio de funcionamiento que las de mercurio y vapor de sodio, salvo que estas tienen materiales adicionales contenidas en el tubo del arco, que sirven para aumentar la producción luminosa y mejorar el color de la lámpara.

Todos estos tipos de lámparas de descarga de alta intensidad se aplican en sistemas de iluminación en exteriores, para deportes, y para iluminar las calles, así como otras aplicaciones generales.

1) Equipo de Iluminación.-

Como hemos visto, el término lámpara en sí debe aplicarse tan solo como sinónimo de foco o fuente luminosa, sin embargo, está muy generalizada la confusión de emplearlo como sinónimo del ensamble en general; es por ello que en forma condensada se enumeran a continuación los componentes que constituyen una luminaria o ensamble:

1.- Cuerpo.- Constituido normalmente por una o más piezas del mismo o diferente material.

2.- Reflector.- Es una de las partes más importantes de un equipo, y lo constituyen una o más piezas según su tipo.

3.- Reflector lente o difusor.- Es otra de las partes importantes de un equipo, y en un mismo ensamble puede en casos tener uno o más componentes.

4.- Lámpara, foco o fuente luminosa aceptada.- Preponderantemente se habla de un solo componente, sin embargo se da el caso de unidades que aceptan dos o más focos en la misma.

5.- Empaques.

6.- Soquet y alambrado.

7.- Tornillería y componentes menores.

8.- Equipo auxiliar.- Estos equipos pueden encontrarse como parte de un mismo conjunto o bien independientemente, vg; balastos, arrancadores, fusibles interruptores y dispositivos de control y encendido, fotoceldas, etc.

No todas las luminarias están formadas por la totalidad de las partes anteriores, y una instalación determinada puede disponer de unidades tan simples como el caso lo amerite.

J) Sistemas de Iluminación.-

Antes de continuar con el cálculo de alumbrado, haremos una clasificación de los sistemas de iluminación tomando en cuenta la intensidad, calidad, color y uniformidad de la luz. Su clasificación es la siguiente:

- 1.- Alumbrado directo.
- 2.- Alumbrado semi directo.
- 3.- Alumbrado directo o indirecto (General Difuso)
- 4.- Alumbrado Semi-indirecto.
- 5.- Alumbrado indirecto.

Adicionalmente estos sistemas se subclasifican en:

- 1.- Alumbrado general.
- 2.- Alumbrado localizado.
- 3.- Alumbrado complementario.
- 4.- Alumbrado auxiliar o de emergencia.

K) Diseño y Cálculo de Alumbrado.-

Al realizar proyectos de iluminación, conviene seguir un orden en las consideraciones del caso, antes de efectuar los cálculos. Tales consideraciones se muestran a continuación:

- 1.- Aspectos físicos del área:
 - Ubicación
 - Arquitectura, ambiente, etc.
 - Dimensiones
 - Elementos estructurales
 - Otros elementos comprendidos en el área y próximos a ella.
- 2.- Tipo de trabajo desarrollado:
 - Uso del área
 - Grado de visibilidad
 - Nivel de iluminación de acuerdo al trabajo a desarrollar.
- 3.- Características de la instalación requerida:
 - Grado de dificultad en la instalación, operación y mantenimiento
 - Horas de uso del sistema
 - Intercambiabilidad de unidades
 - Características de los sistemas eléctricos y mecánicos involucrados.
- 4.- Equipo utilizado.
- 5.- Costos:
 - De instalación
 - De operación y mantenimiento

Existen otros factores secundarios que en mayor o menor grado deben analizarse:

- Efectos perseguidos
- Sistemas adicionales complementarios
- Sistemas propios de iluminación y maquinaria y equipos
- Planeación de ampliaciones o modificaciones, etc.
- Las consideraciones anteriores, después de ser analizadas, nos llevarán a conclusiones a su vez discutibles como son:
 - Posibilidad de distribución de unidades
 - Estética de distribución
 - Tamaño comercial de las lámparas
 - Cantidad de equipos de iluminación, etc.

Los factores que intervienen en el diseño para fijar los diversos niveles de iluminación en un área son:

- 1.- Determinar la composición del espacio.
 - Elementos visibles en primer término.
 - Ubicación del área principal
 - Ubicación de áreas secundarias
 - Espacios de transición de una área a otra.

- 2.- Determinar los objetos motivo de atención especial dentro del área, así como las áreas de trabajo.
Superficie - color, brillantez, etc.
Sombras - Ubicación y posibles interferencias en la visibilidad.
- 3.- Seleccionar luminarias que permitan conseguir la finalidad buscada:
Que no produzca brillantez excesiva
Definir el color de la luz emitida.
- 4.- Proyectar y evaluar el sistema concebido
Cálculo conforme a métodos aprobados
Evaluación de la comodidad visual deseada

L) Procedimientos de Cálculo.-

Existen diversos métodos de cálculo aceptados técnicamente:

- 1.- Método de los lúmenes
- 2.- Método punto por punto
- 3.- Método de relaciones de cavidad
- 4.- Combinación de los anteriores
- 5.- Método práctico, empírico o de prueba

Los tres primeros son, por sí solos, indicados para efectuar un anteproyecto sin descartar asimismo el cuarto como método de comprobación y ajuste, pero se recomienda siempre que sea factible efectuar pruebas físicas en el área de trabajo.

Es decir, que aún a pesar de existir métodos de cálculo definidos, dado que existen un sinnúmero de factores que quedan a criterio del proyectista, conviene efectuar a manera de comprobación, pruebas físicas que corroboren la exactitud de los cálculos y sus conclusiones.

Observaciones.-

a) El método lumen convencional, acepta en su consideración una variante; cantidad de watts por unidad de superficie, la cual normalmente se recomienda usar sólo como método de aproximación para cálculo del número de unidades. Cuando así es, debe usarse el método punto por punto como método de comprobación para zonas críticas una vez determinada la distribución de unidades.

b) El método punto por punto debe utilizarse las más de las veces como método de comprobación, sin embargo, en alumbrado por proyectores su aplicación es indispensable.

c) El método cavitacional viene a ser una modificación del método lumen, presentando grandes ventajas por la mejor consideración de las cavidades o espacios donde se difunde la luz. (principalmente en áreas grandes como naves de producción, etc.)

d) La combinación de métodos y el orden consecutivo de ellos depende de la clase y tipo de proyecto desarrollado. En casos cuando existen muchos factores a considerar, es necesario emplear computadoras, las cuales de acuerdo con el análisis que desarrollan presentan conclusiones y señalan entre ellas la mejor.

Respecto al quinto método debe mencionarse que es aconsejable efectuar pruebas con un mínimo de 3 equipos próximos entre sí, como muestra representativa de la distribución de unidades del sistema aprobado. En forma condensada se dan a continuación las fórmulas y pasos a seguir para la aplicación de los tres primeros métodos.

a) Método de los Lúmenes.-

Este método acepta en sus consideraciones una variante, que es la cantidad de watts por unidad de superficie, la cual normalmente se recomienda sólo usar como método de aproximación para el cálculo de número de unidades.

El método de los lúmenes es práctico y efectivo, determina los lúmenes necesarios para proporcionar una intensidad de iluminación promedio. Considera la superficie del local, la altura de montaje, las reflectancias de paredes, techo y piso, el flujo luminoso de la fuente aprovechable sobre el área de trabajo. El procedimiento es el siguiente:

- 1o.- Elección del nivel de iluminación.
- 2o.- Selección del sistema de alumbrado y del equipo de iluminación correspondiente.
- 3o.- Determinación de las propiedades del salón por iluminar, factor conocido con el nombre de índice de cuarto, el cual considera ancho del local (A), largo del local (L) y altura de montaje (H), relacionados por la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{A \times L}{H (A+L)}$$

- 4o.- Determinación del coeficiente de utilización, CU, se obtiene de tablas proporcionadas por los fabricantes, estas tablas consideran la eficiencia del luminario, las reflectancias de paredes, techo y piso, relacionados con el índice de cuarto.
- 5o.- Determinación del factor de mantenimiento F.M. = $D \times d$ en donde D = Depreciación de la lámpara (dado en tablas)
d = Depreciación por polvo, 10% para locales limpios, 15 a 20% para locales de regulares limpieza, 25 a 35% para locales sucios.
- 6o.- Determinación o cálculo del número de lámparas de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{No. de Lámparas} = \frac{\text{AREA (M}^2\text{)} \times \text{Nivel de Iluminación (LUXES)}}{\text{Lúmenes / Lamp.} \times \text{C.U.} \times \text{FM}}$$

- 7o.- Distribución o localización de las unidades de alumbrado.

$$\text{No. de filas} = \frac{\text{ancho del local}}{\text{Máxima separación permitida}}$$

$$\text{Separación de pared a luminaria} = \frac{\text{Separación entre filas}}{2}$$

b) Método Punto por Punto.

Este método se basa en la cantidad real de luz que es producida en cada punto del área iluminada.

Para esto se requiere un conocimiento de las formas en que se distribuyen las diferentes fuentes luminosas, las cuales pueden ser:

- 1o.- Fuentes puntiformes; la iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.
- 2o.- Fuentes lineales de longitud infinita; la iluminación es inversamente proporcional a la distancia.
- 3o.- Fuente superficial de área infinita; la iluminación no cambia con la distancia.
- 4o.- Haz paralelo de luz; la iluminación no cambia con la distancia.

Este método se utiliza con la condición de que la distancia entre la fuente y la superficie iluminada, sea suficientemente grande con respecto al tamaño de la fuente, como mínimo 5 veces la dimensión mayor de la fuente.

En los casos en que se produzcan estas condiciones, y en los que exista una curva de distribución luminosa de la fuente, se puede determinar la iluminación producida en determinados puntos de la superficie horizontal o vertical, mediante el empleo de las siguientes fórmulas:

$$E = \frac{I \times \text{COS } \theta}{D^2} \quad \text{Superficie horizontal}$$

$$E = \frac{I \times \text{SEN } \theta}{D^2} \quad \text{Superficie vertical}$$

Donde:

E = Nivel de iluminación en un punto determinado (en luxes)

I = Intensidad o fuerza con que es emitida la luz de la luminaria en la dirección al punto (valor conocido mediante el reporte fotométrico de la unidad)

D = Distancia del centro de la luminaria al punto considerado.

θ = Angulo entre la línea que une al centro de la luminaria y el punto considerado y la perpendicular al plano del punto.

SEN θ = Factor para conocer la componente en el plano.

COS θ = Factor para conocer la componente normal al plano del punto.

Para la separación de las luminarias tenemos la siguiente ecuación:

$$W = D \times 2 \text{TAN } \frac{\theta}{2}$$

- W = Separación entre unidades
 θ = Apertura horizontal del rayo (en su zona efectiva)

c) Método de Cavidad Zonal.

Cálculo: Considérese el local en tres cavidades básicas, las cuales son:

- Cavidad del techo (RCT)
 Cavidad del cuarto (RCC)
 Cavidad del piso (RCP)

El procedimiento es el siguiente:

- 1o.- Las relaciones de cavidad se calculan con las siguientes fórmulas, donde A = ancho del local, L = largo del local

$$RCT = \frac{5 \text{ hct } (L+A)}{L \times A}$$

$$RCC = \frac{5 \text{ hcc } (L+A)}{L \times A}$$

$$RCP = \frac{5 \text{ hcp } (L+A)}{L \times A}$$

Donde:

- hct = Distancia entre la ubicación de las luminarias y el techo
 hcc = Distancia entre la ubicación de las luminarias y el plano de trabajo.
 hcp = Distancia entre el plano de trabajo y el piso.

- 2o.- Determinar la reflectancia de las cavidades (datos tabulados y proporcionados por el fabricante).
 3o.- Determinar conforme a estos valores el coeficiente de utilización.
 4o.- Determinar el coeficiente de mantenimiento.
 5o.- Determinar la cantidad de luz requerida (Lúmenes).
 6o.- Calcular el número de unidades necesarias.

La combinación de métodos y el orden consecutivo de ellos dependerá de la clase y el tipo de proyecto a desarrollar.

En caso de que existan muchos factores a considerar, es necesario auxiliarnos con una computadora.

El quinto punto aconseja efectuar pruebas, con un mínimo de 3 equipos próximos entre sí, como muestra representativa de la distribución o de unidades del sistema aprobado.

M) Consideraciones Económicas.-

Al respecto se menciona que la solución más adecuada desde el punto de vista económico, es aquella que por las características de calidad de equipo, bajo costo de operación, consumo y mantenimiento, aunado a un precio de adquisición razonable, es capaz de ser amortizado a corto plazo, resultando dicha solución comparativamente ventajosa con respecto a otras en igualdad de condiciones de proyecto y conforme a los mismos parámetros. Normalmente, y desde luego para un mismo nivel, se analizan en estos estudios costos y demás factores comparativos, tales como:

- Tipo de unidad
- Cantidad de unidades
- Características
- Tipo de lámparas y sus características
- Costos de la inversión inicial
- Costo de instalación
- Costo de operación y mantenimiento
- Costo del consumo de energía
- Rentabilidad del equipo, amortización, etc.

N) Conclusiones.-

a) La necesidad de contar con mejores proyectos y sistemas de alumbrado, implica el mejor conocimiento de la materia y el tener que asesorarse por especialistas.

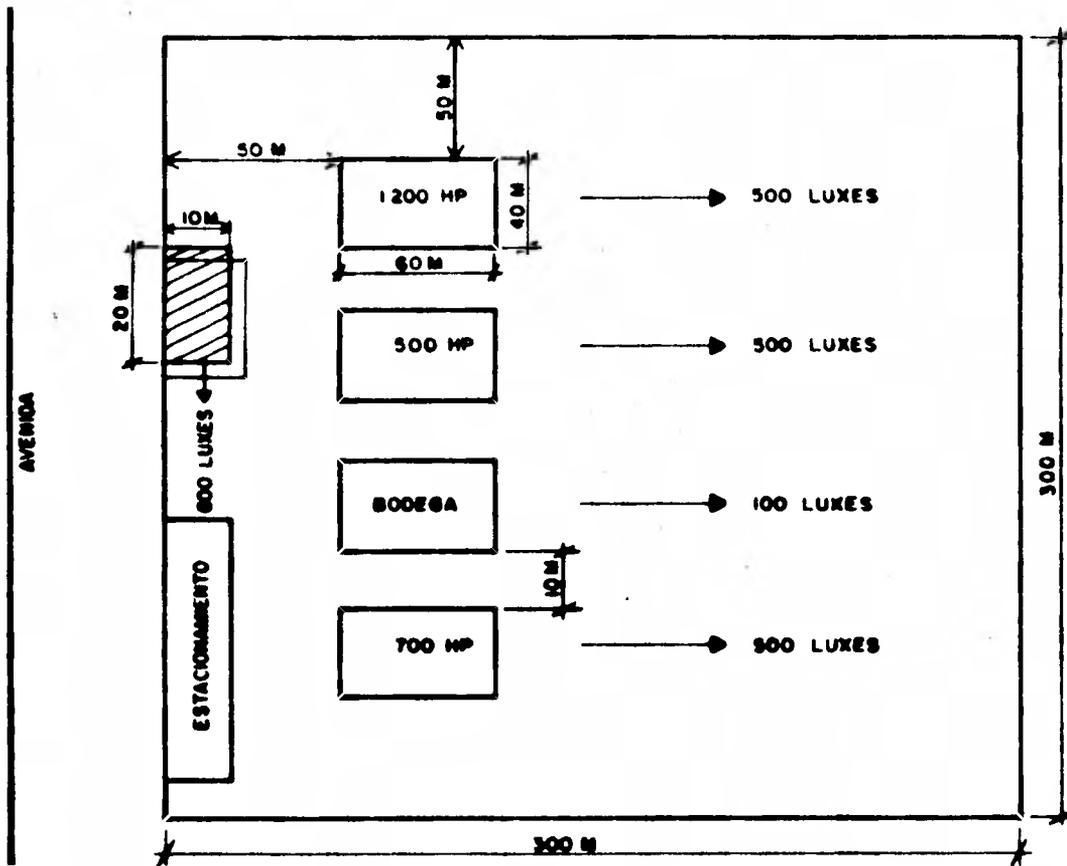
b) Por norma existen restricciones en la selección de equipos para áreas peligrosas, mas no para el resto de áreas que pueden considerarse como "NO PELIGROSAS".

c) Existen equipos de diferentes tipos y modelos capaces de resolver un problema determinado. Es el proyectista quien debe evaluar cual de ellos permitirá la mejor solución por su aplicación.

d) Los proyectos de alumbrado tienen el problema de contar con muchos factores dignos de consideración que quedan a juicio del proyectista, por lo que es recomendable establecer listas de tales factores y seguir un orden determinado en la consideración de los mismos.

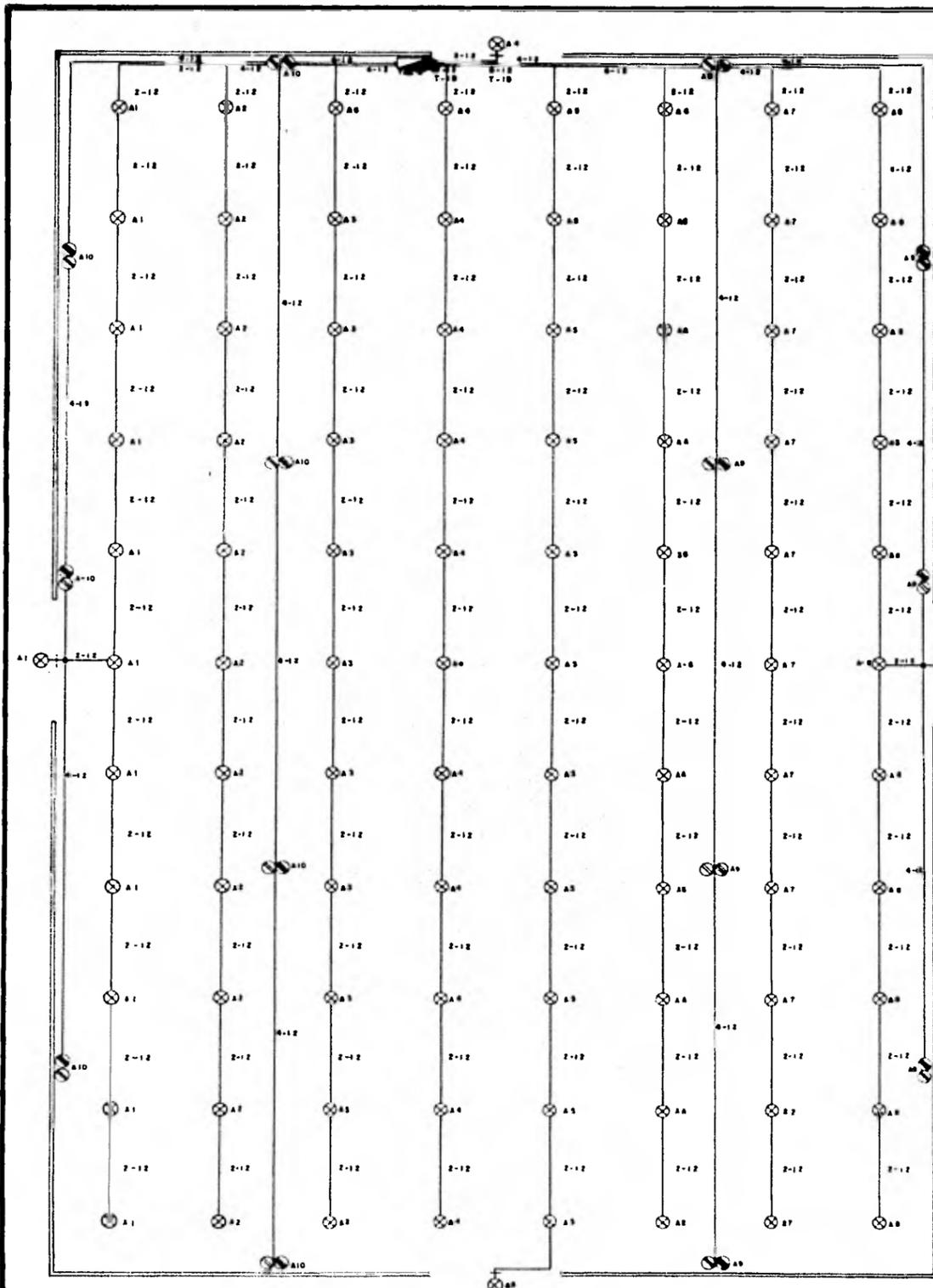
e) Siempre que sea factible deberá realizarse una prueba a manera de muestra representativa del sistema para corroborar la veracidad de los resultados esperados.

f) La economía bien entendida, indica que una solución aportada por la Ingeniería no siempre será la más barata, sino aquella que permita un ahorro comparativamente grande con respecto al gasto que se tendrá a corto plazo por la implantación de algún otro sistema similar.

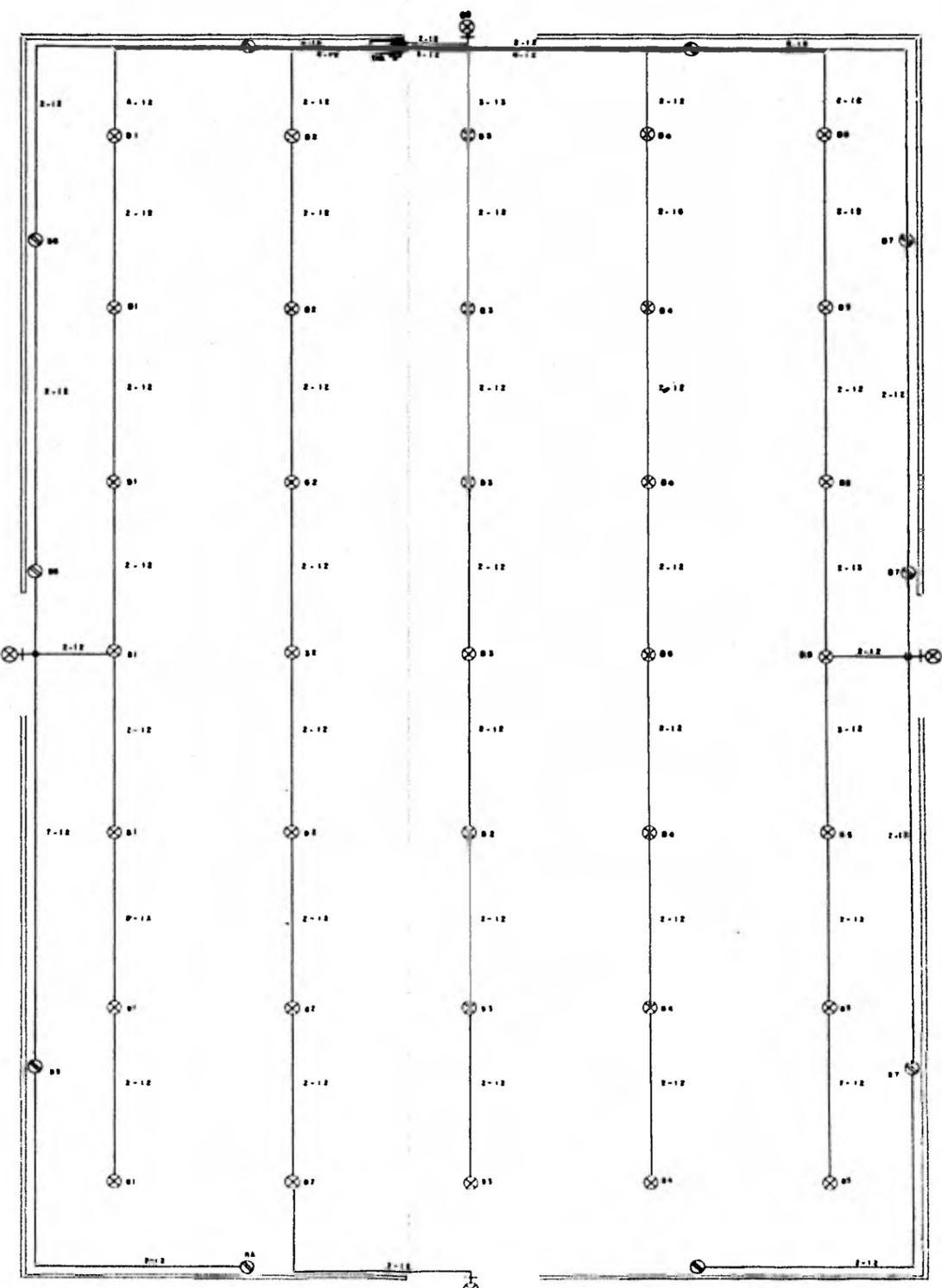


ILUMINACION

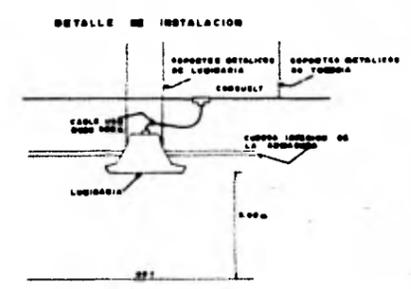
CROQUIS DE DIMENSIONES Y NIVELES DE ILUMINACION REQUERIDOS EN LA FABRICA TEXTIL QUE SIRVE DE EJEMPLO PARA ILUSTRAR ESTA TESIS.



MÓDULO No. 1 = No. 3 = No. 4



MÓDULO No. 2



TABLENO 800-50-4L
TABLA 1° CUADRO DE CARGA

| NO. | DESCRIPCIÓN | WATTS | A | B | C |
|-------|-------------|-------|------|------|------|
| 01 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 02 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 03 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 04 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 05 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 06 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 07 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 08 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 09 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 10 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 11 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 12 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| TOTAL | 80 | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 |

TABLENO 800-10-4L
TABLA 2° CUADRO DE CARGA

| NO. | DESCRIPCIÓN | WATTS | A | B | C |
|-------|-------------|-------|------|------|------|
| 01 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 02 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 03 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 04 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 05 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 06 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 07 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 08 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 09 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 10 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 11 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 12 | 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| TOTAL | 80 | 8000 | 8000 | 8000 | 8000 |

NOTA: LAS HORILLAS SON DE TIPO IGUAL. CABLEADO, ALAMBRE Y CABLEADO DE DISTRIBUCIÓN.

LOCAR MAS SELLOS

SEMINARIO DE TESIS

PLANO DE INSTALACION DE ALUMBRADO Y CONTACTOS EN LOS MODULOS No. 1 A 4

ESTUDIOS DE SISTEMAS DE POTENCIA PARA MEDIANA Y BAJA TENSION

| | | |
|---------------|-----------|-----------------------|
| ESCALA 1:20 | APROBADO | DIRECTOR DE SEMINARIO |
| DESENHO G. M. | PLANO No. | 196 LUIS MENDOZA |

C A P I T U L O I V
S I S T E M A D E F U E R Z A

IV.- PROYECTO ELECTRICO PARA DISTRIBUCION DE FUERZA.-

A) Generalidades.-

El estudio para un proyecto en general de un Sistema Eléctrico de Potencia se inicia con la determinación del tamaño y naturaleza de la carga por alimentar.

Para comenzar el diseño, es necesario elaborar un plano o croquis donde se muestran las cargas básicas y su localización aproximada, así como toda posible carga futura que pudiera ser agregada.

Una vez que el plano y cargas preliminares han sido desarrolladas, se procederá a preparar un diagrama unifilar tentativo que muestre los conceptos generales de un sistema ideal.

Este diagrama nos mostrará los principales elementos que constituyen la instalación eléctrica desde la carga más elemental, pasando por los diversos dispositivos de que se compone, hasta la acometida por la cual se alimentará al sistema. Este no solamente nos servirá de guía para el diseño del sistema, sino que además, nos dará una idea razonable de la continuidad del servicio; la distribución congruente de todos sus componentes y muchos otros conceptos útiles en la planeación del sistema. El diagrama unifilar tentativo, probablemente sea combinado o modificado muchas veces durante el desarrollo del proyecto, pero es necesario para la obtención de un buen diseño del sistema eléctrico.

B) Clasificación de las Cargas.-

Las cargas por alimentar suelen ser de muy diversos tipos o formas, siendo un aspecto bastante difícil o problemático el enumerar o clasificarlas. Sin embargo, comúnmente las podemos agrupar en dos grandes grupos:

- a) Cargas Definidas
- b) Cargas Indefinidas

a) Las cargas definidas son aquellas en las que conocemos todas sus características como potencia y voltaje, así como el tiempo de trabajo, etc. Este tipo de cargas las podemos subdividir en:

- a.1) Cargas de Alumbrado
- a.2) Cargas de Aparatos
- a.3) Cargas de Motores

b) Las cargas indefinidas, como su nombre lo indica, serán desconocidas o bien serán del tipo eventuales en una instalación. Un caso muy concreto que tenemos de este tipo de cargas, es al momento de calcular la carga de los contactos, ya que nunca podremos saber con exactitud para que serán utilizados.

Para alimentar adecuadamente las cargas, hay que conocer con exactitud su localización definitiva, para poder efectuar una buena elección del sistema de distribución.

C) Criterios Para la Elección del Sistema de Distribución.-

En los Sistemas Eléctricos de Potencia, es necesario definir el arreglo que se considere más conveniente a seguir para el sistema de distribución, para ello nos basaremos en los siguientes criterios:

- 10.- Especificar la energía de la cual se dispondrá en alta tensión, así como voltaje de operación, regulación de voltaje, capacidad de circuito corto disponible en la red, capacidad de la línea, etc.
- 20.- Especificar las características de la tensión en la cual se va a distribuir y/o alimentar las cargas, debiendo tomar en cuenta el aspecto económico al considerar el voltaje más apropiado para la alimentación de motores grandes, considerandose siempre la conveniencia de distribuir en dos o más tensiones.
- 30.- Prever todas las futuras expansiones para diseñar, lo más adecuado posible alimentadores e interruptores de mayor capacidad.

D) Sistemas de Distribución.-

Determinada la tensión de distribución hay que definir el sistema de distribución, teniendo presente la confiabilidad que se requiere para la alimentación de ciertas cargas, y qué tan crítica es la necesidad de que operen en forma continua o simultánea algunas de ellas. Para ello hemos escogido los siguientes arreglos más comunes en los sistemas de distribución:

1o.- Sistemas Radial Simple.-

Sus características principales son: Simplicidad adecuada para cargas hasta 1000 KVA; capacidad reducida al aprovechar la densidad de las cargas del sistema; altas corrientes de circuito corto; interruptores de alta capacidad interruptiva y alta corriente de operación; alimentadores largos y costosos, mala regulación debido a la caída de voltaje; baja eficiencia debido a las pérdidas en los alimentadores.

2o.- Sistema Radial con Centros de Potencia.-

Sus principales características son: Es el sistema más económico arriba de 1000 KVA; los alimentadores son cortos debido a la colocación de cada centro de potencia inmediata al centro de carga; bajas corrientes de circuito corto; equipo interruptor de baja interrupción y baja corriente nominal; buena regulación de voltaje; pérdidas moderadas; mala continuidad (una falla en el alimentador principal significa interrupción total); tardanza en restaurar el servicio en caso de falla en una estación; poca flexibilidad.

3o.- Sistema Radial Selectivo Primario.-

Sus principales características son: Continuidad aceptable al fallar un alimentador (se puede conectar la carga rápidamente al otro); cada uno de sus circuitos primarios debe tener capacidad para el total de la carga. En caso de falla en un transformador, la unidad se desconecta rápidamente y se restaura el servicio dejando fuera una zona, todas las ventajas del sistema anterior están en este arreglo.

4o.- Sistema Radial Selectivo Secundario.-

Sus características son: Permite pronta restauración del servicio por defectos en el alimentador primario o en el transformador; mejor continuidad que los dos anteriores; la falla en un transformador no interrumpe por largo tiempo ninguna alimentación ya que la carga pasa a otro mediante el interruptor de amarre; cada transformador debe poder llevar la carga del sistema.

5o.- Red en Anillo Automático.-

Sus principales características son: Alimentación no interrumpida de la carga, alta eficiencia y regulación; operación automática en caso de fallas del transformador o alimentador primario; la carga se transfiere a los otros transformadores u otro alimenta-

dor a través del anillo secundario; no requiere exceso de capacidad transformadora; manejo de arranque de motores grandes con menos variación de voltaje o parpadeo del alumbrado mínimo; bajas pérdidas.

Como se podrá observar, estos no son todos los tipos de distribución conocidos, pero si los que creemos más importantes o fundamentales. Nos es imposible enumerar todos los arreglos que se pueden hacer para un sistema de distribución, debido a lo extenso que resultaría este estudio.

Lo que recomendamos al ingeniero proyectista, es que debe tener presente al diseñar un sistema de distribución, que la capacidad, confiabilidad y continuidad del servicio deben ser los objetivos principales, teniendo presente los costos y optar por el sistema que resulte óptimo de acuerdo a las características del sistema.

E) Conductores para Sistemas de Distribución.-

Los conductores eléctricos son aquellos elementos que por sus características naturales reúnen los siguientes requisitos:

- 1o.- Alta Conductividad.
- 2o.- Resistencia Mecánica.
- 3o.- Flexibilidad.
- 4o.- Bajo costo.

Entre los elementos que reúnen dichas características encontramos al cobre, aluminio, oro, plata siendo el cobre el que más se emplea en la fabricación de conductores por su bajo costo y gran conductividad.

El cobre se puede fabricar en tres tipos, dependiendo del temple en su fabricación.

a) Conductores de cobre suave.- Sus características son: Baja resistencia mecánica, alta elongación y su conductividad eléctrica es del 100%.

b) Conductores de cobre semiduro.- Sus características son: Mayor resistencia mecánica, menor elongación y su conductividad es del 96.66%.

c) Conductores de cobre duro.- Sus características son: Alta resistencia mecánica, poca elongación y conductividad poco menor a 96%.

El aluminio es un buen conductor, pero su conductividad con respecto al cobre es del 61%. Además tiene la desventaja de ser quebradizo; su uso se limita a líneas de transmisión ó conexiones de cortas distancias en los que se emplean barras de gran sección transversal.

A excepción de las líneas aéreas que generalmente son de cable desnudo, la mayoría de las líneas son de cable con forro aislante.

Este aislamiento no es el mismo para la mayoría de los casos, todo depende de las condiciones de trabajo. El aislamiento debe ser apropiado para soportar:

- 1o.- Nivel de Voltaje.
- 2o.- Niveles de Temperatura.
- 3o.- Tensión Mecánica
- 4o.- Ataques Químicos.

Los aislamientos los podemos clasificar en varios tipos de aislamiento.

- a) En Mediana Tensión.-

- a.1) Aislamiento de propileno, etileno o polietileno, cadena cruzada.
- a.2) Con o sin pantalla semiconductor.
- a.3) Con o sin pantalla metálica.
- a.4) Cubierta protectora de PVC, plomo o neopreno.

b) En baja tensión pueden ser varios tipos, siendo dos los principales y de más uso en sistemas de distribución :

- b.1) Aislamientos elastómeros, como hule, ya sea hule sintético o natural, neopreno y otros materiales vulcanizables.
- b.2) Aislamientos termoplásticos, estos materiales pueden endurecerse a temperaturas de 100°C, son deformables bajo presión y no conducen la flama.

Un aislamiento puede usarse en una temperatura ambiente cercana a la máxima permitida, siempre y cuando la ampacidad del conductor se reduzca.

F) Selección del Calibre de Conductor más Adecuado.-

Para seleccionar adecuadamente el calibre de un conductor, es importante tener en cuenta los siguientes factores:

- a) Capacidad de conducción de corriente en servicio contínuo (Ampacidad).
- b) Caída de tensión permisible.
- c) Capacidad de conducción de corriente de circuito corto.

1.- Selección por Ampacidad.-

La ampacidad para cables en mediana y baja tensión la encontramos en las tablas 2 y 3 del ROIE y a partir de la 310-16 del NEC, para un máximo de 3 conductores, en tubo conduit, ducto cerrado, ch ro la, aéreos, entradas, etc., a temperatura ambiente de 30°C.

Estos valores de ampacidad no cubren condiciones externas, por lo tanto, es necesario afectar los valores de las tablas anteriores por factores de corrección. Estos se considerarán como reductores de ampacidad y en la práctica se consideran dos factores que son:

a) Factor por agrupamiento: Si el número de conductores que se agrupan en un ducto o tubo conductor, es mayor de tres, estarán limitados en su capacidad de conducción de corriente por razones de calentamiento, al existir limitaciones en la disipación del calor, o sea que, se debe considerar espacio para la circulación de aire para que los conductores se encuentren a una temperatura adecuada. Estos factores de corrección los encontramos en el artículo 11 del ROIE y en las tablas 310-16 y 310-17 del NEC, las cuales recomiendan el factor apropiado al No. de conductores.

b) Factor de corrección por temperatura ambiente superior a 30°C: La capacidad de conducción de corriente, está en función directa a la capacidad del aislamiento al elevarse la temperatura, esto es, que la temperatura del conductor no llegue a la temperatura de fusión de los aislamientos; en la tabla No. 2 del ROIE o en la tabla 310-16 del NEC, encontramos los factores aplicables de acuerdo a la temperatura nominal máxima de operación del aislamiento empleado.

2.- Selección por caída de Tensión.-

En el ROIE, artículo 6-2, especifica que la caída de tensión desde la entrada de servicio hasta el último punto de la canalización, no deberá ser mayor del 4% para cargas de fuerza y de 3% para cargas de alumbrado.

Como conclusión de lo anterior, es importante que una vez que se haya elegido el conductor adecuado por cálculo de ampacidad, se verifique el cálculo por caída de tensión. En la siguiente ecuación, solo se toma en cuenta la resistencia del conductor para el cálculo. Esta ecuación se encuentra desarrollada en casi todos los libros de instalaciones, por lo cual solo la enunciaremos de la siguiente forma:

$$\% e = \frac{2 \sqrt{3} I L}{E \times S}$$

Donde:

$\% e$ = Caída de tensión en por ciento.

L = Longitud del conductor en metros.

I = Corriente en amperes.

E = Voltaje de líneas.

S = Sección transversal del conductor.

Un cálculo más exacto sería si tomáramos en cuenta el valor de la reactancia y resistencia, siendo la caída por reactancia y resistencia la que resulta de la siguiente ecuación:

$$e = \sqrt{(RI)^2 + (XI)^2}$$

Donde:

RI = Caída de voltaje por resistencia.

XI = Caída de voltaje por reactancia inductiva.

Por lo tanto la caída de tensión por fase es:

$$e\% = \frac{e}{E} \times 100$$

Donde:

e = Caída de tensión en volts.

E = Voltaje entre líneas.

3.- Selección por Capacidad de Conducción de Corriente de Circuito Corto.-

La capacidad de circuito corto que soporta un cable aislado, es independiente de su voltaje de operación, y para su cálculo solamente se consideran las siguientes factores: sección transversal del conductor, material del conductor, temperatura en períodos de circuito corto, duración en segundos de este período y temperatura del conductor al ocurrir el circuito corto.

Para conductores de cobre la I_{cc} será:

$$I_{cc}^2 = A^2 \times \frac{0.0297}{t} \times \log \frac{234.5 + T_{cc}}{234.5 + T_i}$$

Donde:

I_{cc} = Capacidad en amperes en circuito corto para cables aislados.

A = Areas del conductor en circular - mil.

t = Tiempo de duración en segundos del circuito corto.

T_{cc} = Máxima temperatura en °c que soporta el aislamiento en períodos de circuito corto.

T_i = Temperatura del conductor en °c al ocurrir el circuito corto.

Existen tablas para cálculo de corrientes de circuito corto de un cable que suelen usarse con buena aproximación.

G) Diseño de Protección.-

Se define como protección contra sobre-corriente, a la acción defensiva que presenta un dispositivo o equipo eléctrico (Fusible interruptor, relevador) contra el paso de cualquier cantidad de corriente mayor a la que dicho equipo puede soportar. Los dispositivos más comunes que se utilizan para llevar a cabo la protección contra sobre-corriente son:

- 1o.- Fusibles.
- 2o.- Interruptores.
- 3o.- Relevadores.
- 1o.- Fusibles.-

Son elementos que operan bajo el principio térmico, debido al bajo punto de fusión. Estos cambian las funciones de apertura de los circuitos al detectar las fallas, son usados indistintamente en alta o baja tensión.

Características: Bajo costo, protección efectiva, tiempo bajo de fusión a corrientes altas. Desventajas: No pueden ser ajustables, operación lenta a valores moderados de circuito corto, en sistemas polifásicos puede fundirse solo uno ocasionando serios problemas al sistema si no esta debidamente protegido.

Hay dos tipos de fusibles; los propiamente llamados fusibles estandars y los fusibles limitadores de corriente. Los fusibles de tipo estandar permiten al fundirse que la corriente alcance su máximo valor de cresta antes de extinguirse el arco, en cambio los fusibles limitadores tienen un aditamento especial que extingue el arco antes de que ocurra este. Se dice que son autoprotegidos porque son capaces de extinguir el arco en cualquier valor de corriente que este dentro de los límites de su capacidad interruptiva.

2o.- Interruptores.-

Son equipos de protección que utilizan los principios mecánicos, térmicos y magnéticos para abrir a un tiempo, en cuanto se presente una sobre corriente, todos los conductores no conectados a tierra del circuito al cual protegen.

a) Interruptores termomagnéticos: Su funcionamiento se basa en aprovechar, 1o. el efecto deformativo que produce una sobrecorriente en un bimetálico, para operar así por medio de contactos el mecanismo de disparo del interruptor, 2o. utilizan también la sobrecorriente que se presenta y la hacen circular en una bobina devanada sobre un núcleo de hierro para magnetizarlo, activando un mecanismo que acciona los contactos para la apertura del interruptor.

En los interruptores termomagnéticos el elemento térmico protege el circuito contra sobrecorriente y el magnético contra circuito corto.

b) Interruptores Electromagnéticos.- Si a los interruptores se les adapta un revelador, el cual funciona bajo el principio electromagnético y sirviendo además como dispositivo de protección, que se usa a la vez para activar la apertura del interruptor, tendremos el interruptor llamado electromagnético.

Además de operar por sobre-corriente, el interruptor electromagnético opera por sobre o baja tensión, también son activados por potencia y pueden ser operados eléctricamente o a control remoto.

Los interruptores automáticos más usados son los que utilizan el aire ó el aceite (poco o gran volumen) para extinguir el arco. Los hay también en vacío y en hexafluoruro de azufre (SF_6).

3o.- Relevadores.-

Los relevadores funcionan bajo los siguientes principios:

- 1.- Atracción Electromagnética.
- 2.- Inducción Electromagnética.
- 3.- De estado Sólido.

Los relevadores deben cumplir con los siguientes factores.

- 1.- Velocidad.
- 2.- Seguridad.
- 3.- Confiabilidad

Los relevadores se clasifican en cuatro tipos.

- 1.- Auxiliares.
- 2.- De Protección.
- 3.- De Regulación.
- 4.- De Verificación.

1.- Los Relevadores Auxiliares.-

Son usados como respaldo de los relevadores de protección, sus principales funciones son:

- a) Energizar circuitos de control.
- b) Aumentar el número de contactos para circuitos de control que necesiten corrientes de mayor intensidad de la que pueden manejar con mayor seguridad.
- c) Proporcionar flexibilidad en los arreglos de contactos.

2.- Relevadores de Protección.-

Su uso es para detectar fallas en líneas y equipos ó condiciones inestables en el sistema, abriendo los circuitos o mandando señales de alarma. Estos relevadores son de alta velocidad ya que su operación no sobrepasa los 3 ciclos a una frecuencia de 60 Hz.

3.- Relevadores de Regulación.-

Su operación es establecer un control sobre las variaciones no deseadas de cantidades medidas o algún parámetro que se desea controlar dentro de un rango de valores establecidos.

4.- Relevadores Verificados.-

Estos operan corrigiendo ciertas características de comportamiento preestablecidas, como puede ser según lo planeado, fuera de lo planeado, disparos incorrectos, no disparan, etc.

Todos estos dispositivos deben operar con seguridad bajo cualquier condición anormal que se presente en el sistema, preservando la vida de los integrantes del sistema, como son conductores, equipos y controles, así como la protección al personal.

Al seleccionar el equipo más adecuado, se basará en un estudio en el que intervendrán varios factores, incluyendo su costo inicial y las condiciones técnicas de todo tipo.

El equipo de protección se debe seleccionar tomando en cuenta que deberá en todo momento de interrumpir el paso de la corriente de circuito corto que tratará de circular a través de él.

Para esto hay que hacer un estudio de la corriente de circuito corto para determinar las características de los elementos de protección. Este estudio nos ayudara a seleccionar el equipo, así como también a hacer una coordinación de todos los elementos de protección contra las corrientes de circuito corto en cualquier punto del sistema, lo cual nos permitirá aislar al máximo cualquier falla que se presente de tal forma que la seguridad y continuidad del sistema no se vea afectada.

Para determinar la capacidad interruptiva y ajustes en los elementos de protección, es necesario conocer las de falla que pueden ocurrir en cualquier punto del sistema de distribución. El estudio de la corriente de circuito corto comprende un cálculo laborioso, pero se puede auxiliar de varios métodos para el cálculo de la misma; antes de empezar el cálculo es recomendable hacer un diagrama de impedancias donde se incluyan todas las impedancias de los elementos activos y pasivas. En seguida procedemos al estudio del circuito corto con cualquiera de los métodos conocidos, empleando el que nos sea de mayor utilidad, según el caso lo requiera, y así poder determinar la corriente de falla en cualquier punto del sistema. Después se realiza un estudio de coordinación para cada uno de los alimentadores; teniendo en cuenta que los dispositivos de protección tendrán un amplio rango de ajuste para sus necesidades actuales y futuras.

IV.2 CENTROS DE CONTROL DE MOTORES DE BAJA TENSION.

1.- Breve Historia y Características Generales.-

El desarrollo de los Centros de Control de motores hasta 600 volts, se halla ligado a la evolución de los interruptores termomagnéticos en caja moldeada. Así es como, con la aparición de los interruptores termomagnéticos, surge la aplicación de arrancadores combinados en substitución del arreglo tradicional de interruptor de navajas o de seguridad y arrancador magnético, como unidades separadas. El uso de éstas combinaciones de interruptor-termomagnético-arrancador fué alcanzando cada vez más auge, debido a su facilidad de instalación.

Al mismo tiempo fué haciéndose notable la tendencia, sobre todo en instalaciones eléctricas de cierta importancia, de localizar los controles de motores agrupados en áreas remotas, en lugar de instalarlos individualmente cerca de cada motor. Esto a su vez, llevó

a la práctica de montar éstos grupos de controles o combinaciones en estructuras, quedando cada control con su propia línea de alimentación de salida. Poco a poco la idea fué agrupar éstas mismas combinaciones en gabinetes comunes, con barras principales a las cuales se conectaba la entrada de energía, y se distribuía a cada combinación. Este arreglo es al que, inicialmente se le dió el nombre de Centro de Control.

A partir de entonces se fueron introduciendo mejoras en el Centro de Control original, a fin de hacerlo cada vez más funcional y con mayor seguridad para el operador, hasta llegar al diseño actual. Dentro de las características más notables que fueron aumentadas a través del tiempo, está la construcción de unidades o combinaciones removibles, ductos de alumbrado, aislamiento completo entre unidades y construcción de estructuras estándar.

La definición actual que dá NEMA, para un Centro de Control, es la de un ensamble autosoportado de uno o más gabinetes verticales con un bus trifásico horizontal común y que contiene principalmente combinaciones para control de motores.

Generalmente cada sección de Centro de Control debe incluir un bus vertical o cualquier otro medio de conexión, para distribuir la energía desde las barras principales a cada unidad. Las conexiones entre este bus y cada combinación pueden ser fijas o deslizantes. El medio más usual es con conexiones deslizantes, lo que permite insertar o retirar una unidad, mientras el Centro de Control está en servicio. Para esto, las unidades serán removibles, excepto en aquellos tamaños de arrancador en los que ésta característica no sería práctica.

Tanto el bus horizontal como el vertical, deben ser capaces de soportar corrientes de falla de hasta 25000 amperes, para lo cual se deben proporcionar soportes mecánicos a la distancia adecuada, con el fin de restringir el movimiento de las barras como resultado de la interacción de sus campos magnéticos, al ocurrir la falla.

2.- Clasificación de Centros de Control según NEMA.

NEMA clasifica los Centros de Control en Clase I y Clase II, y dentro de ambas clases se tienen los tipos A, B y C.

Los Centros de Control Clase I son esencialmente un agrupamiento mecánico de combinaciones de control de motores, alimentadores y otros arreglos de unidades, en un ensamble conveniente. Incluyen conexiones del bus horizontal común, a las unidades. No hay conexiones o enlaces eléctricos entre unidades, o entre unidades y dispositivos montados a remoto. En ésta clase, el fabricante suministra diagramas individuales de unidades.

Los Clase II son agrupamientos mecánicos, para formar sistemas completos de control. Incluyen enlaces eléctricos y alambrado entre unidades, y se prevén enlaces para dispositivos remotos.

Se deben incluir los diagramas necesarios para ilustrar la operación de los controles asociados en el Centro de Control.

Los tipos A, B y C, definen el alambrado, o más bien dicho, la cantidad de alambrado que se suministra en cada caso, esto es:

Tipo A: No hay tablillas terminales en las unidades y se elaboran sólo diagramas individuales para cada unidad.

Tipo B: En éste tipo todas las conexiones de control son llevadas a tablillas en la unidad. Las unidades de alimentadores no llevan tablillas. Se incluyen diagramas individuales de cada unidad.

Tipo C: Es una ampliación del Tipo B, ya que el alambrado es llevado de las tablillas de cada unidad a tablillas maestras localizadas en la parte superior o inferior del Centro de Control. Se elaboran diagramas de cada unidad, más un arreglo de las tablillas terminales maestras.

En la práctica éste tipo es usado preferentemente donde existen enlaces eléctricos con secuencias entre unidades y dispositivos remotos.

3.- Unidades o Combinaciones de Interruptor-arrancador.-

Cada combinación de control de motores deberá contener un medio para desconexión del circuito, operando externamente y con protección de sobre-corriente para el circuito, más un arrancador magnético con la protección de sobrecarga y los accesorios adecuados. El medio de desconexión del circuito y la protección de sobrecorriente, se proporcionan en la mayoría de los casos con interruptores termomagnéticos. El rango continuo en amperes de éstos interruptores, debe ser no menor del 150% de la corriente de plena carga del motor, ni mayor del 300% de la misma corriente. Sin embargo, si por alguna razón éste valor de 300%, no es suficiente para manejar la corriente de arranque del motor, puede aumentarse hasta el 400% como máximo. La razón de ésta restricción, es que debe protegerse el elemento térmico del relevador de sobrecarga, que conduce la corriente del motor. Con sobrecargas arriba del 400% éstos elementos térmicos pueden llegar a fundirse antes de que el bimetálico cambie su temperatura lo suficiente para disparar el arrancador. La experiencia ha demostrado que interruptores no excediendo la limitación de 4 veces el rango del elemento térmico, dispararán y limpiarán la falla, antes de que el elemento térmico se funda.

Motores que tomen menos de 4 amperes, se consideran adecuadamente protegidos por sobrecorriente, cuando se usan con interruptores de 15 amperes.

En el caso de que el interruptor que se aplique en la combinación sea del tipo instantáneo, el rango del mismo deberá ser más alto que la corriente de arranque del motor que va a manejar.

El arrancador debe incluir la protección de sobrecarga que es probablemente la más importante, ya que protege al motor, al control y a la línea, de los efectos de corrientes arriba de su rango de operación continua, pero abajo de los valores manejados por la protección de sobrecorriente del interruptor.

En general al hablar de sobrecarga se está hablando de sobretemperatura. Este exceso de temperatura puede deberse a un sobrecalentamiento originado a su vez por una sobrecarga mecánica en el motor, pero también puede resultar de arranques demasiado frecuentes, como en el caso de ciclos repetitivos.

El bajo voltaje en las líneas, agrava también la situación puesto que una corriente mayor debe ser tomada por el motor para desarrollar la potencia requerida por la carga.

A su vez el calentamiento del motor está en relación inversa con la corriente y el tiempo, esto es, con sobrecargas elevadas se alcanza una temperatura alta rápidamente, y en cambio sobrecargas ligeras pueden ser llevadas por el motor por relativamente largos tiempos. Por esta razón las características de los dispositivos de protección de sobrecarga deberán seguir la curva de calentamiento del motor tan cerca como sea posible.

En resumen las causas más importantes de una sobrecarga pueden ser las siguientes:

- a) Sobrecargas sostenidas, causadas por una carga mecánica anormal en la fecha del motor.
- b) Sobrecargas sostenidas, causadas por un bajo voltaje en la línea.
- c) Ciclos demasiado rápidos de trabajo en máquinas intermitentes, así como arranque y paros demasiado frecuentes.
- d) Excesiva carga mecánica, lo cual causará que el motor se atasque o falle al arrancar, tomando una corriente muy elevada durante el período de arranque.
- e) Motor trifásico operando monofásicamente, evitando su arranque o causando excesiva corriente en marcha.
- f) Finalmente, y aunque no es una sobrecarga estrictamente hablando, una excesiva temperatura ambiente en el motor, tiene el efecto de una sobrecarga sostenida.

El Reglamento de Obras Eléctricas indica que la corriente de disparo del relevador no debe ser mayor del 125% de la corriente de plena carga del motor.

Tomando esto como base, los elementos térmicos del relevador proporcionan del 115 al 125% de protección, para motores con factor de servicio de 1.15.

Si el factor de servicio del motor es 1.0, o bien el motor es totalmente cerrado, o sea desea tener un 115% de protección como

máximo, debe elegirse un elemento térmico de un número menor al indicado en las tablas, para el valor de la corriente de plena carga del motor.

Asimismo, debe hacerse alguna compensación cuando motor y control no están a la misma temperatura ambiente. Si motor y control están a la misma temperatura, los relevadores automáticamente compensarán los cambios. Para resolver el problema de temperatura ambiente diferentes, se fabrican relevadores de ambiente compensado.

En la mayoría de los casos, los motores son usados para guiar cargas con baja inercia, con lo cual el tiempo de arranque en tales casos es únicamente de unos pocos segundos. En general el calor generado en el relevador de sobrecarga por la corriente de arranque, es considerablemente menor que el requerido para disparar el relevador, de tal manera que el arranque del motor no representa problema alguno. El tipo permisible de atascamiento, en motores de jaula de ardilla de uso general, es del orden de 20 segundos, lo cual quiere decir que el motor es capaz de tolerar 20 segundos de tiempo de arranque no frecuente.

Cuando los relevadores estándar, teniendo un tiempo nominal de 20 segundos a 6 veces la corriente del motor, son aplicados en la base de las tablas de selección, se entiende que tales relevadores no causarán disparo durante el arranque, mientras el período de arranque no exceda de 20 segundos.

Cuando los motores son usados con cargas de alta inercia, requiriendo períodos de arranque mayores de 20 segundos, las características del motor y del relevador deberán ser verificadas para evitar que ocurra un disparo en el arranque.

Los motores diseñados especialmente para arrancar cargas de alta inercia, tienen tiempo de atascamiento más grande que los 20 segundos de los motores de uso general.

Una vez que la carga ha sido arrancada, las características térmicas de esos motores, son comparables a las de los de uso general, y por lo mismo los relevadores normales son adecuados para la protección. Para evitar disparos indebidos durante el arranque, los relevadores pueden ser conectados en los circuitos secundarios de transformadores de corriente, los cuales se seleccionan de tal manera que se saturen con la corriente de arranque.

4.- Protección de los Circuitos de Control.

Por lo que se refiere a los circuitos de control de cada combinación de interruptor-arrancador, la protección debe suministrarse en alguna de las siguientes formas:

a) Cuando se usa transformador de control individual en cada combinación, el primario será conectado del lado del carga del interruptor y, el secundario tendrá un dispositivo de sobrecorriente, uno en cada hilo aislado de tierra, con capacidad de corto circuito igual a la que exista en el secundario del transformador de control.

b) Cuando no hay transformador de control, y el control es tomado directamente del lado de carga del interruptor, el circuito será protegido por dispositivos de sobrecorriente en cada hilo aislado de tierra, con capacidad de corto circuito no menor que la capacidad interruptiva del Centro de Control.

c) Cuando el control es suministrado por un transformador alimentando a más de una combinación, el transformador deberá tener un medio de desconexión y dispositivo de sobrecorriente en el primario, con la capacidad interruptiva del Centro de Control.

El secundario tendrá dispositivos de sobrecorriente, cada hilo aislado de tierra, con capacidad interruptiva no menor, que la corriente de corto circuito en las terminales del transformador.

Interruptor General.-

Si el Centro de Control incluye interruptor general, deben tenerse en cuenta las siguientes reglas para seleccionar su capacidad continua en amperes:

1.- Si el interruptor es termomagnético, el rango continuo no debe ser mayor que el rango del interruptor más grande colocado en el Centro de Control, más la suma de las corrientes de plena carga de los demás motores.

2.- En el caso de interruptores instantáneos, éstos deben estar ajustados para la corriente de arranque del motor de mayor capacidad más la suma de las corrientes de plena carga de los demás motores.

3.- En instalaciones donde se prevén ampliaciones futuras, es necesario tomar en cuenta ésta situación, al determinar la capacidad del interruptor general.

5.- Capacidad de corto circuito.-

Al seleccionar un Centro de Control, debe tenerse en mente no sólo la capacidad normal que va a manejar, sino la capacidad de corto circuito del sistema al cual se va a conectar, a fin de determinar el valor de la corriente de corto circuito que se originará en el caso de una falla dentro de Centro de Control, o fuera del mismo, en las líneas o aparatos que alimentan las unidades.

Así podemos decir que la capacidad para soportar un corto circuito en un Centro de Control, estará representada por la corriente máxima en amperes que se alcanzará en el mismo, debido a la corriente que aportará el sistema a la falla, más la contribución de los motores conectados en ese momento.

En ausencia de información más precisa, es usual suponer que la contribución de los motores a la falla será igual a 4 veces el valor de la corriente normal en el Centro de Control.

Cuando la corriente de falla no pasa de 15000 amperes asimétricos, generalmente no se usa interruptor de entrada. Todos los interruptores de las unidades tienen la capacidad interruptiva adecuada y el arreglo proporciona continuidad en el servicio, ya que cada interruptor disparará y limpiará la falla del circuito sin afectar la operación de las demás unidades.

Si la corriente de falla es mayor de 15000 amperes pero menor de 25000, se puede usar un interruptor principal de la capacidad adecuada, dejando los demás interruptores con capacidad baja. Este arreglo permite que el interruptor de entrada, que es de mayor capacidad proteja a los de menor capacidad, pero existe el riesgo calculado de interrumpir la continuidad del servicio, ya que si suponemos que el interruptor de alta capacidad puede ser ajustado para disparar instantáneamente a corrientes más altas que las de los interruptores de baja capacidad, en una falla, ambos interruptores tenderán a dispararse, y pueden llegar a hacerlo los dos. Si dispara el interruptor principal, el Centro de Control completo quedará fuera de servicio. Este problema de continuidad en el servicio, puede eliminarse en este caso, usando para cada unidad interruptores de alta capacidad, los cuales sufren perfectamente los 25000 amperes asimétricos.

Para corrientes de falla arriba de 25000 amperes, el Centro de Control debe ser reforzado mecánicamente en las barras, como ya se dijo anteriormente, a fin de soportar los esfuerzos mecánicos desarrollados en los mismos. Además se recomienda en uso de reactores limitadores de corriente que pueden bajar los valores de corriente de 100000 a 15000 amperes, según las necesidades.

Con los reactores limitadores conectados a la entrada del Centro de Control, se garantiza la continuidad en el servicio, ya que la falla en uno de los circuitos no afecta a los demás. Su aplicación es ampliamente recomendada en plantas de procesos continuos donde los "tiempos fuera de servicio" son muy costosos, y por lo mismo la continuidad en el servicio eléctrico es de importancia máxima. La desventaja de usar reactores radica en la pérdida de energía disipada en forma de calor y en la inevitable caída de voltaje.

Otro método para proteger Centros de Control conectados a sistemas con capacidades en exceso de las capacidades interruptivas de los interruptores instalados, es usando fusibles limitadores de corriente en lugar de reactores. Puede lograrse excelente coordinación entre los fusibles limitadores y los interruptores, a fin de lograr que éstos últimos disparen con corrientes de falla dentro de su capacidad, sin que los fusibles limitadores operen. En corrientes mayores de la capacidad interruptiva de los interruptores, los fusibles limitadores, limitarán el pico de corriente e interrumpirán la falla. El interruptor también disparará, pero quedará protegido por los fusibles.

La desventaja de éste método radica en la posibilidad de que se funda un sólo fusible causando la operación monofásica de todo el Centro de Control.

Otra posible solución, sería usar desconectador con fusibles de alta capacidad en lugar de interruptores, en cada combinación, pre-

sentándose de nuevo la desventaja de la operación monofásica, además de la necesidad de reponer los fusibles fundidos por otros de idénticas características y capacidad interruptiva, a fin de no correr un grave riesgo durante la operación de los mismos.

6.- Conclusión.

En la aplicación de control de motores, el Centro de Control, es una herramienta versátil que proporciona innumerables ventajas, pero que debe seleccionarse adecuadamente a fin de obtener realmente dichas ventajas.

IV.3 PROGRAMA GENERAL PARA LA PLANEACION DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION. -

La confiabilidad en la energía eléctrica es algo que solo puede obtenerse a través de una cuidadosa planeación del sistema eléctrico, principalmente en la etapa de diseño.

La planeación puede hacer la diferencia entre un buen sistema y un sistema que no cubra los requerimientos necesarios y en las etapas iniciales significa tener una visión total de las necesidades inmediatas y futuras del proyecto que se está considerando.

En un principio todos nosotros debemos estar de acuerdo en que los sistemas industriales de energía eléctrica son creados únicamente para servir a las cargas. Esto no es un fin por sí propio. Frecuentemente discutimos partes individuales del sistema, características de motores, de interruptores y consecuentemente todos los equipos por completo; pero siempre debemos tener en mente que el sistema opera como un todo, incluyendo la fuente de energía y todo el equipo específicamente alimentado o controlado por el sistema. Por consiguiente el

sistema deberá ser cuidadosamente integrado a los requerimientos del proceso y también deberá ser adecuado para los requerimientos actuales y para los futuros.

Consideramos que casi todos los ingenieros pueden conjuntar un sistema que trabajará adecuadamente; sin embargo, frecuentemente también tales sistemas son seleccionados únicamente en la base de un costo inicial mínimo y se presta muy poca atención a algunos de los principios fundamentales de la buena planeación de un sistema de energía eléctrica, que comprende: funcionamiento, calidad, confiabilidad, seguridad y facilidad de expansión.- Gran parte de lo que implican estos conceptos no son comprendidos cabalmente y como consecuencia no se llega a tener el mejor sistema para la planta en cuestión y con el paso del tiempo los costos resultan mayores.

La inversión en un sistema de distribución eléctrica, es usualmente una pequeña parte del costo total de la planta, variando de dos a diez por ciento del costo inicial de construcción. La diferencia en costo entre un sistema bien planeado y un sistema con estrictamente lo necesario para cubrir los requerimientos iniciales, es generalmente de poca importancia.

Actualmente, los esquemas de los sistemas de distribución parecen ser mas pobres que hace 20 años, en contraposición a los mejores métodos y equipos ahora disponibles. Lo que se necesita es un retorno a la consideración de los principios básicos de la planeación de los sistemas y una apreciación de los beneficios que serán obtenidos de sistemas bien planeados y el uso de componentes modernos que ofrecen las mejores ventajas.

Vamos a exponer ahora unas cuantas de las ideas fundamentales que podrían ser de gran utilidad y que constituyen las formas prácticas para conseguir el mejor sistema por el dinero que se va a invertir.

1.- Participación Humana.-

Esta es probablemente la acción individual mas importante que podemos llevar a cabo, para asegurar que tendremos un buen plan del sistema. No hablar con la gente adecuada es uno de los grandes errores que cometemos, por una simple razón: mientras que nosotros sabemos como desarrollar el diseño actual, es imposible efectuar realmente un buen trabajo sin conocer precisamente lo que el sistema tiene que hacer y lo que tiene pensado el propietario para su planta en fechas posteriores.

Observen el equipo de expertos que tienen que vivir con el diseño y que deberán proporcionar la información correcta. Me gustaría sugerir que el Gerente de Producción de la planta sea una de las primeras personas que se consulten, porque cae bajo su responsabilidad que los productos sean fabricados al más bajo costo posible, que los planes de producción se cumplan y que la calidad del producto sea la esperada. Esto significa que se debe suministrar energía eléctrica

ca en forma adecuada, cuando se necesite, en suficiente cantidad y de alta calidad para que la maquinaria y equipo funcionen eficientemente.

La gente de producción es la que conoce mejor qué departamento o cuales máquinas pueden soportar una interrupción de energía y cuales no pueden soportarla.

Otra persona importante es el Jefe de Mantenimiento, su responsabilidad consiste en mantener el sistema funcionando y evitar paros no programados por causa de interrupciones en la energía eléctrica.

Otra persona que debe ser consultada es el Ingeniero de Planta. Su responsabilidad consiste en mantener el sistema operando dentro de márgenes de seguridad y dirigir las actividades cuando se presente una emergencia, tales como un incendio o daños en las áreas de trabajo.

El ingeniero encargado del proyecto eléctrico deberá participar en todas las juntas y discusiones donde se tomen decisiones que afecten el tipo, tamaño, localización, etc., de cargas. Al Diseñador se le debe dar oportunidad para definir los requerimientos de espacio y de dinero que se gastará en el equipo eléctrico.

Unicamente con esta clase de trabajo en equipo, desde el arranque hasta el final de la etapa de planeación de una nueva planta, se conseguirá un sistema eléctrico que satisfaga todas las necesidades de producción.

2.- Comenzar con un Plano y con Información de Cargas.-

Comenzar el diseño del sistema con un plano o mapa donde se muestren las cargas básicas y su localización aproximada. Tales cargas como bombas, compresores, elevadores, etc., pueden ser situadas en el plano con sus potencias aproximadas. Este plano o mapa deberá mostrar además toda carga futura que pudiera ser agregada. Es decir, que la instalación inicial deberá ser planeada para acomodar posteriormente las ampliaciones.

Una forma de evitar retrasos para comenzar el diseño del sistema es estimando las cargas probables basados en los datos que se puedan obtener sin mucha dificultad y compararlos con plantas similares existentes en términos de volt-amperes, (o watts), por unidad de superficie para los servicios de alumbrado y de fuerza, o pudiera ser que se tengan algunas cantidades en número de kilowatts-hora por tonelada de producto terminado.

En cualquier caso, lo importante es recordar que no es necesario tener una lista completa de todos los motores y datos de cargas en la fase inicial de planeación y existen publicaciones especializadas que contienen información para estimar los datos de varias clases de cargas.

Después de que el plano y cargas preliminares han sido desarrolladas, se procederá a preparar, lo más pronto posible, un diagrama unifilar tentativo que muestre los conceptos generales de un sistema ideal.

El diagrama unifilar es la herramienta más manuable de que se puede disponer. No solamente sirve como una guía constante para el diseño del sistema, sino que dá una idea razonable de la continuidad del servicio; cómo se distribuyen los componentes congruente mente y muchos otros conceptos útiles en la planeación del sistema.

El diagrama unifilar tentativo, probablemente, sea cambiado o modificado muchas veces durante el desarrollo del proyecto, pero los cambios en el papel son fáciles de hacer y cuestan poco. Si el diagrama unifilar se mantiene al día servirá como un record completo del diseño del sistema.

En cada etapa durante el desarrollo del sistema se deberá repasar el diagrama unifilar en busca de puntos débiles. Asumir una falla en cada circuito o pieza del equipo, una a la vez y analizar qué parte del sistema pueda quedar fuera de servicio debido a esa falla.

Si se requiere un servicio sin interrupciones en ciertas áreas, entonces el sistema deberá diseñarse de tal manera, que una falla en una pieza del equipo, pueda ser automáticamente aislada con un mínimo de disturbancia para el resto del sistema.

3.- Fuentes de Energía-Comprar o Generar.-

Los siguientes comentarios nos darán una idea para decidir si debemos comprar la energía o tener generación propia o una combinación de las dos.

Generalmente se requiere un estudio económico para determinar que es más conveniente si comprar o generar; pero para la mayoría de los casos la respuesta es evidente por si misma:

Probables prospectos por generación propia, son las industrias del papel, acero, química, petroquímica y refinería de petróleo. Son también candidatos para generar su propia energía las plantas que requieren grandes cantidades de vapor procesado o que desperdician grandes cantidades de calor o que tienen una fuente de abastecimiento de combustible disponible del proceso.

Sin embargo, cabe mencionar que en México así como en otros países la mayoría de las plantas industriales compran la energía a empresas eléctricas.

Si la energía se va a comprar se tiene que conocer en qué forma la empresa eléctrica proporcionará esa energía. Siempre es importante y es imperativo, cuando la carga es grande, consultar desde un principio con la empresa que suministrará la energía. Lo más oportuno

tuno para ésta consulta es cuando se está considerando la localización de la planta. Esto ayudará a la empresa eléctrica a proporcionar el mejor servicio y estarán muy interesados en el tamaño de la carga, el factor de carga y cualquier demanda especial como soldaduras u otras cargas cíclicas, hornos de arco, arranque frecuente de motores grandes, etc. Industrias pequeñas con cargas de varios cientos de KVA, o menores pueden ser alimentadas a 480 volts. Plantas más grandes son alimentadas a tensiones medias y plantas con cargas muy grandes a tensiones de subtransmisión o de transmisión.

Otras importantes consideraciones son:

Regulación del voltaje y dispersión de voltaje en la línea de entrada. Esto puede determinar si se necesitará instalar equipo regulador de tensión en la subestación reductora o en los alimentadores.

Coordinación de relevadores.- Es un punto muy importante en cualquier conexión al sistema de una empresa eléctrica y deberá recibir cuidadosas consideraciones. Algunas veces, estas consideraciones pueden influenciar considerablemente el diseño del sistema.

Con respecto a la subestación principal que bajará la tensión del sistema alimentador a la tensión de servicio de entrada a la industria, es muy importante aclarar y dejar establecido, desde un principio, con la Comisión Federal de Electricidad quien será el dueño de la subestación y por consiguiente responsable de darle servicio y mantenimiento.

Si la subestación va a servir exclusivamente a una planta industrial, es ventaja que sea propiedad de la industria, porque así se tendrá máximo control sobre su capacidad, diseño y operación y que dará mejor integrada al sistema de distribución dentro de la propia planta.

4.- Confiabilidad en el Servicio.-

Confiabilidad en el servicio significa muchas cosas diferentes para diferentes personas. Por ejemplo: hay problemas de continuidad de servicio, de restauración del servicio, de requerimientos de capacidad de emergencia, calidad de la tensión de servicio, caídas transitorias de tensión y fluctuaciones, etc. Sabemos por experiencia que no todos los procesos requieren el mismo grado de confiabilidad en el servicio o de restauración del servicio. Algunas operaciones, por ejemplo, son del tipo de procesos por tandas, donde la falta de energía ocasiona una pérdida de producción y daños al equipo menores o sin consecuencias. Por otra parte en los hornos de las plantas de cemento o la operación de una refinería que trabajan las 24 horas del día una parada no programada puede resultar cara y aún desastrosa.

Es muy importante conciliar los requerimientos de confiabilidad del servicio con el diseño del sistema y la selección del equipo.

5.- Planear para Crecimiento de Carga y Cambios.-

A pesar de lo que pensemos inicialmente encontramos que las plantas se expanden y las cargas casi siempre crecen.

En la etapa de planeación es fácil y generalmente cuesta poco arreglar un sistema de tal manera que pueda ser fácil y económicamente aumentado cuando la carga crece o se hacen cambios.

Hay que estar seguros de que el diagrama unifilar básico muestre un sistema que admita una expansión fácil y económica y hacer otro diagrama unifilar considerando que la carga es de dos o tres veces mayor que la carga inicial prevista. Después volvemos al sistema original y si es necesario lo re-planeamos de tal manera que sea fácil aumentarlo sin que se desperdicie o se pierda parte de la capacidad o del equipo considerado en el sistema original.

En forma similar cuando se moderniza una planta se elabora un diagrama unifilar idealizado con lo que debe contener y se usa como una guía para futuras substituciones.

Por ejemplo, se requiere estar seguro que todos los interruptores tienen capacidad interruptiva adecuada actualmente y para el futuro. Como ustedes saben, agregando capacidad al banco de transformadores, se puede elevar el nivel de corto circuito y los interruptores deberán ser seleccionados en la base de un eventual nivel de corto circuito mayor, de tal manera, que no sea necesario cambiarlos posteriormente.

Pensamos normalmente que la vida del equipo es de 20 años o más y estamos encontrando en una base que se considera mundial, que la industria está creciendo en una forma que se duplicará o se triplicará en los próximos 15 a 20 años, de tal manera que se puede ver la importancia de planear al futuro y tener la seguridad de que todo el equipo que entra en los planes iniciales, está adecuadamente capacitado para admitir ampliaciones más tarde.

Los aumentos en los niveles de corto circuito no solamente pueden ser ocasionados por la ampliación propia de la planta, sino también por los cambios que puede haber en el sistema de las empresas eléctricas.

Considerando estas situaciones en las etapas iniciales de planeación, podemos evitar que nos veamos sorprendidos con instalaciones con capacidades interruptivas inadecuadas.

6.- Planear con Seguridad para la Gente y Equipo.-

Cada año mueren y resultan heridas muchas personas en accidentes ocasionados por la electricidad. El público no olvida los errores o falta de cuidado en el diseño y uso del equipo.

Existen muchos conceptos que deben considerarse en el diseño del sistema para mejorar los aspectos de seguridad. Aquí tienen algunas preguntas que ustedes deben hacerse:

- ¿Está el sistema diseñado de tal manera que no sea necesario trabajar con el equipo energizado?
- ¿Están todas las partes vivas encerradas dentro de cubiertas metálicas aterrizadas?
- ¿Está el neutro del sistema correctamente conectado a tierra y los circuitos a tierra del equipo están diseñados apropiadamente?
- ¿Aterrizar apropiadamente el equipo y los diseños de esos circuitos a tierra son vitales para la seguridad?
- ¿Ha sido bien aplicada la protección contra descargas atmosféricas?
- ¿Han sido bien especificados los relevadores de los dispositivos de protección?

Es interesante notar que la mayoría de los dispositivos de protección dentro de un sistema, tales como la puesta a tierra del neutro del sistema, conexiones a tierra de los equipos, relavadores contra fallas, pararrayos, etc., son elementos pasivos o inactivos hasta que ocurre una falla o cae un rayo o sucede algún otro evento o disturbio.

Estas son las razones de que muchos sistemas que aparentemente están trabajando exitosamente, esconden debilidades que invariablemente afloran en los momentos de peligro o desgracia. "Cortando esquinas" en la protección de sistemas para lograr ahorros es un seguro camino para perder más dinero con el transcurso del tiempo.

7.- Diseñar para Mantenimiento de Bajo Costo.-

En la planeación del sistema, es bueno recordar que los costos de mantenimiento son costos de producción. Estos costos terminan por aparecer como costos de manufactura, en el presupuesto del Gerente de Planta, aunque el superintendente de mantenimiento, sea responsable de la administración y control del presupuesto de los gastos de mantenimiento.

¿Como se consigue un mantenimiento de bajo costo en un sistema de distribución? Para lograr esto podemos mencionar las tres reglas básicas siguientes:

REGLA No. 1

Los componentes del sistema deberán estar localizados en tal forma que sea fácil llegar a ellos con seguridad. Si están en exteriores, dentro de los límites de la planta, construir un cuarto cercano a estos componentes para que pueda trabajar el personal de mantenimiento. Si los componentes del sistema están en balcones construir pasillos y escaleras que permitan el libre acceso a estos equipos.

REGLA No. 2

Diseñar el sistema para tener flexibilidad en los trabajos de mantenimiento. Se pretende que sea posible reparar o inspeccionar una parte del sistema, sin tener que poner fuera de servicio ninguna otra parte.

REGLA No. 3

Use componentes que se presenten para utilizar las técnicas modernas de mantenimiento. El mantenimiento es fácil si todos los equipos están dentro de cajas o gabinetes metálicos adecuados al tipo de servicio a que serán destinados, si son de diseño moderno, por ejemplo: tableros construidos en gabinetes metálicos con interruptores removibles.

Antes de terminar con esta parte, me gustaría hacer un comentario que se aplica tanto a los sistemas antiguos como a los nuevos. Un funcionamiento de alta eficiencia, aún con equipo de alta calidad y un buen diseño del sistema, depende de un programa adecuado de pruebas y mantenimiento para lograr un funcionamiento bueno y continuo. Es muy conveniente llevar un record de todo el equipo eléctrico activo.

8.- Reservar Espacio para el Equipo Eléctrico al Principio de la Planeación del Sistema.-

Con frecuencia encontramos que el proyecto civil y mecánico de la planta, se hace sin ninguna consideración apropiada del espacio requerido para instalar el equipo eléctrico. El resultado es que tenemos que acomodar el equipo con dificultades, en áreas muy reducidas o al contrario se quedan grandes espacios sin ocupar, que pueden ser muy costosos desde el punto de vista de costo por metro cuadrado de construcción de la planta.

El mensaje de este comentario es que la planeación eléctrica del sistema, debe hacerse desde el principio teniendo en mente el espacio que se requiere para instalar el equipo eléctrico en su fase inicial, así como el requerido para futuras ampliaciones.

9.- Conocer los Reglamentos y Códigos.-

Se deberá tener la seguridad de que se han considerado los efectos que pudieran tener los reglamentos y códigos que sean aplicables, desde un principio, en las diferentes etapas de la planeación, que encontrar después que se cometieron algunos errores en el diseño y tener que eliminar o modificar el equipo, cuando ya se ha comprado o instalado.

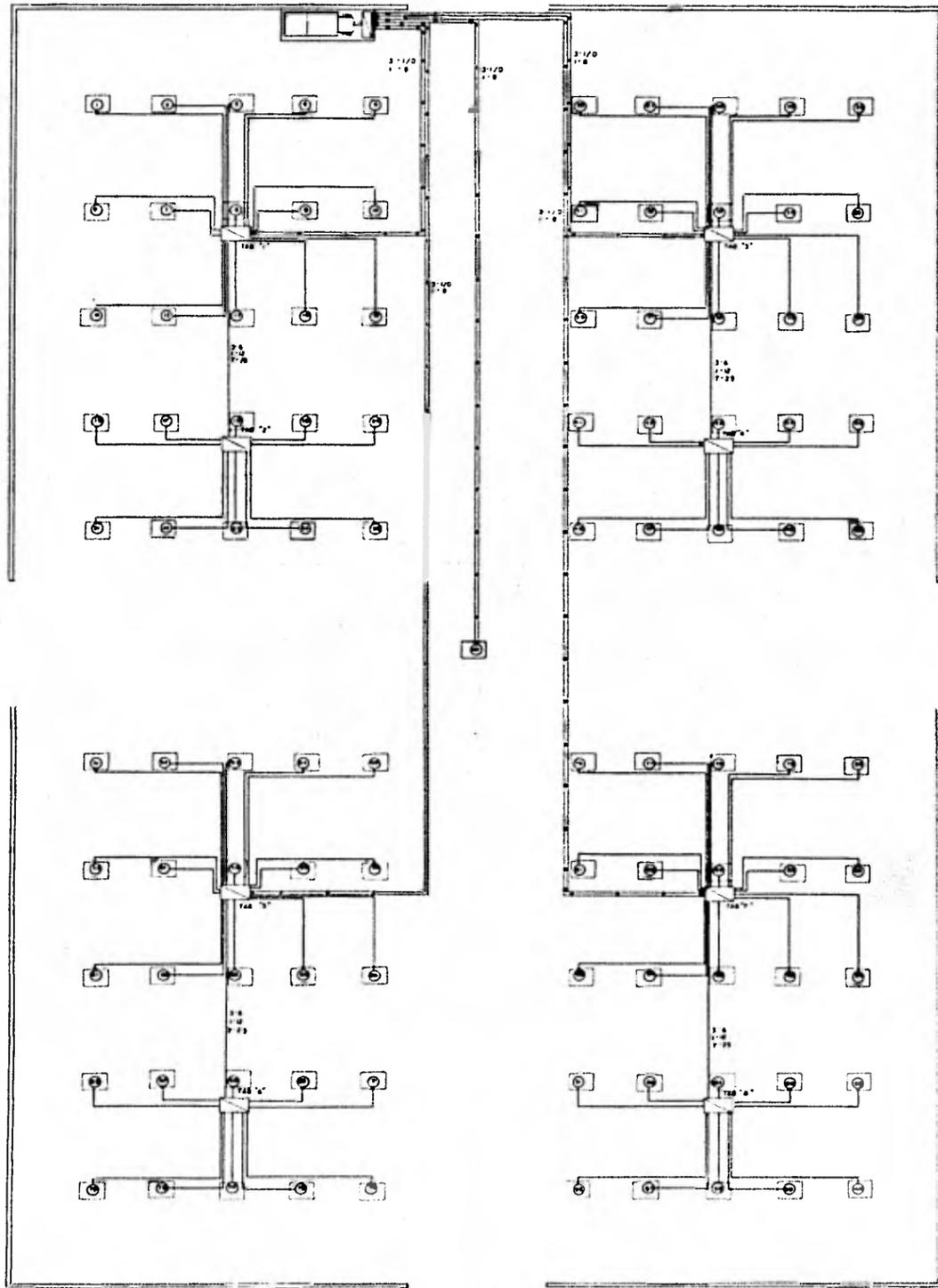
10.- Examine Ampliamente todo el Sistema.-

Un sistema de distribución de energía eléctrica debe ser planeado tomando en consideración todos los conceptos fundamentales que hemos mencionado. Solamente en la base de la planeación de un

sistema ampliamente comprensivo, se puede estar seguro de que se ha seleccionado un sistema económico, con las características apropiadas óptimas y con las componentes del equipo adecuadas para obtener el mejor funcionamiento.

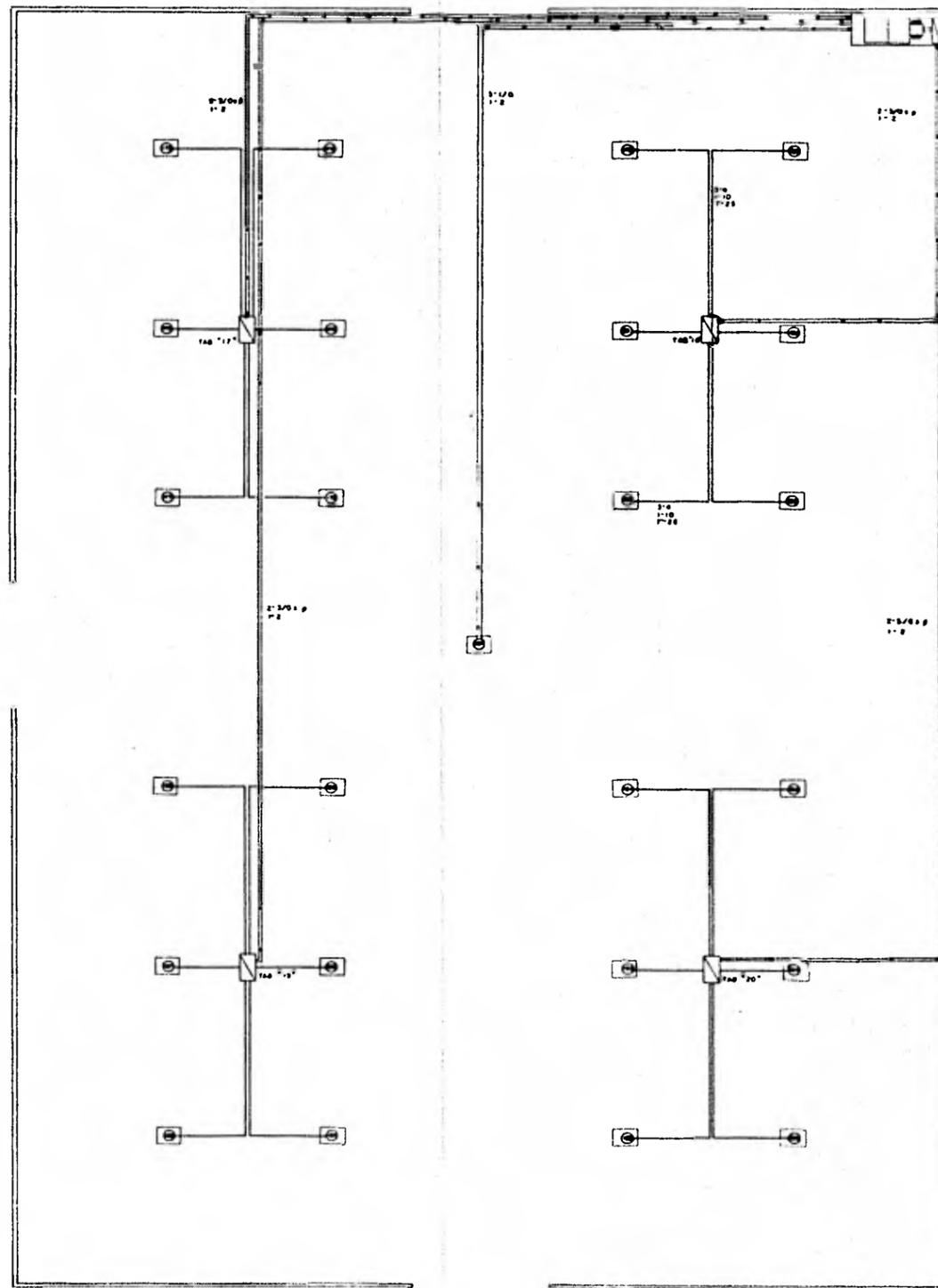
La planeación marca la diferencia entre un buen sistema, confiable y seguro y otro pobre en su concepción en el que nos podemos ver sorprendidos con limitaciones, en condiciones de operación costosas y muchas veces peligrosas.

Se debe insistir y volver a insistir en una Buena Planeación del Sistema de Distribución de Energía Eléctrica.



NOTA LA TUBERIA NO ESPECIFICADA ES DE 1 1/2" Y LLEVA 4" BARRA

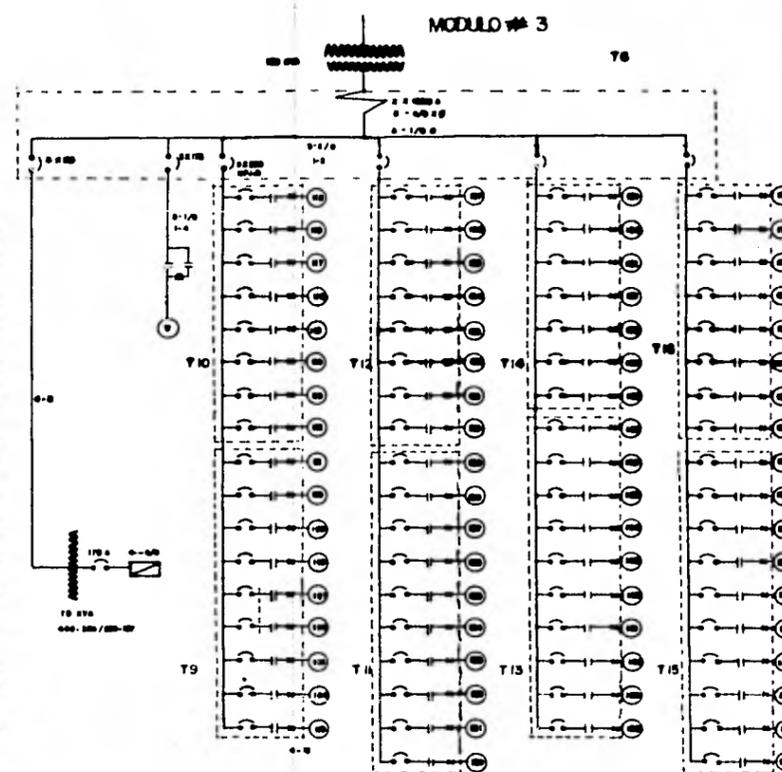
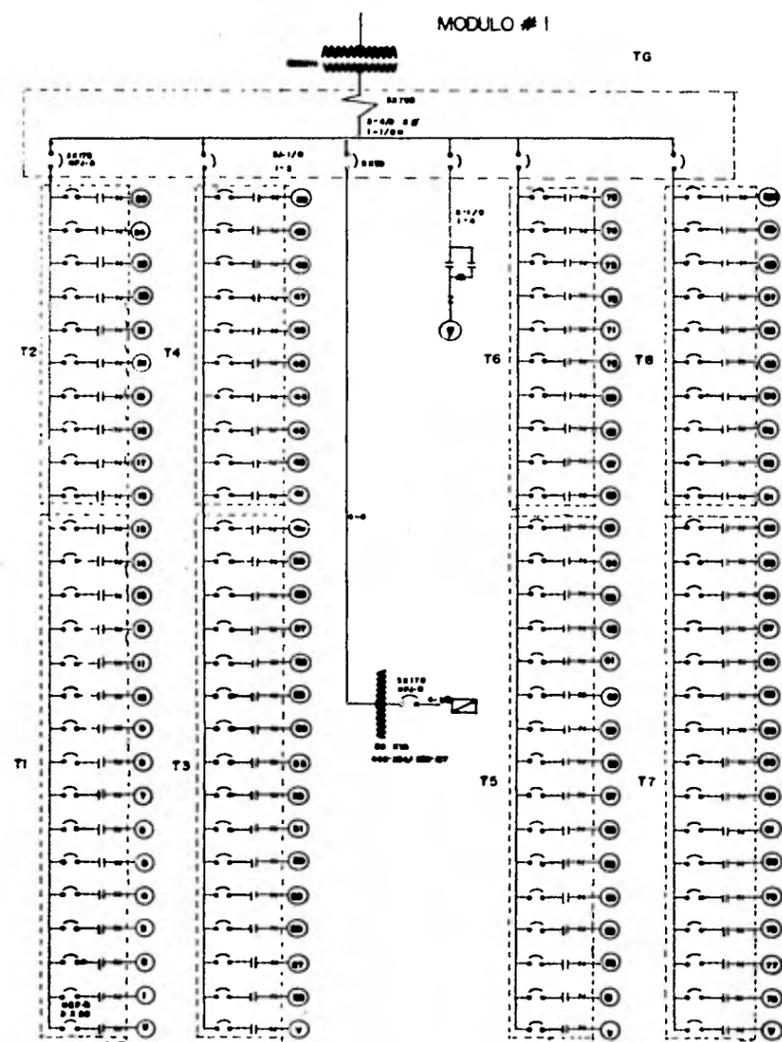
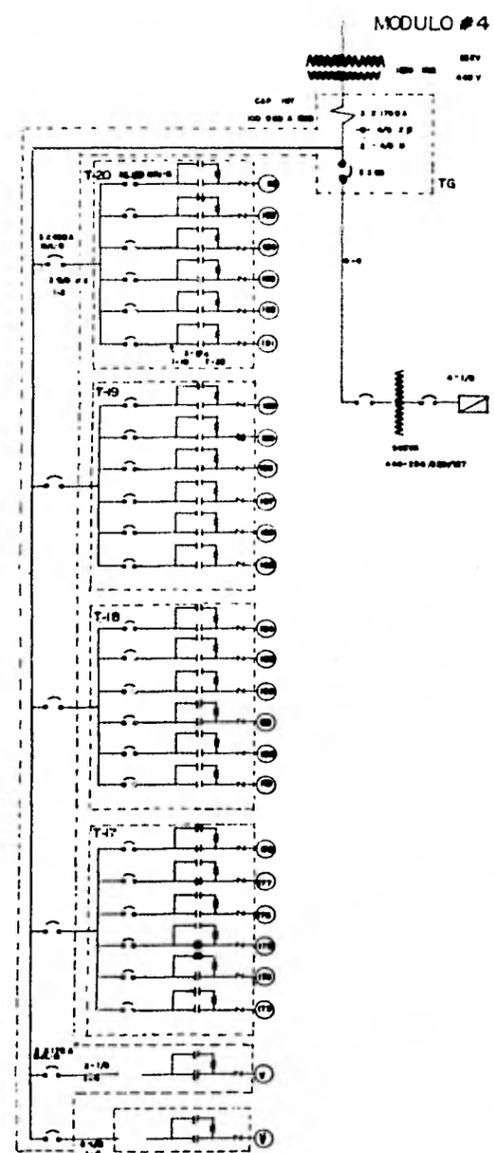
MODULO No. 1



NOTA LA TUBERIA NO ESPECIFICADA ES DE 1 1/2" Y LLEVA 4" BARRA

MODULO No. 4

| | | |
|---|-----------|-----------------------|
| LUGAR PARA SELLOS | | |
| SEMINARIO DE TESIS | | |
| PLANO DE INSTALACION DE SISTEMA DE FUERZA EN MODULOS No. 1 Y 4 | | |
| ESTUDIOS DE SISTEMAS DE POTENCIA PARA MEDIANA Y BAJA TENSION | | |
| ESCALA 1:25 | APROBADO | DIRECTOR DE SEMINARIO |
| DIBUJADO SAB | PLANO No. | ING. LUIS BURNOS I |



LUGAR PARA SELLO

SEMINARIO DE TESIS.

DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE PUNEA
EN MODULOS No 1, 3 Y 4

ESTUDIOS DE SISTEMAS DE POTENCIA PARA
MEDIANA Y BAJA TENSION

| | | |
|--------|-------|-----------------------|
| ESCALA | CARGO | DIRECCION DE ESTUDIOS |
| PLAZO | PLAZO | ING. LUIS GARCIA |

C A P I T U L O V

S U B E S T A C I O N

V.1 INTRODUCCION

Una subestación eléctrica se define como el conjunto de elementos que nos permiten cambiar las características eléctricas en los sistemas eléctricos de potencia, tales como frecuencia, voltaje, etc.

Debido a estas características se clasifican en diferentes tipos. En el caso de los sistemas eléctricos de mediana tensión los clasificaremos de la siguiente forma:

- 1o.- Por su tipo de operación, pueden ser de corriente alterna o corriente directa.

- 2o.- Por su función, pueden ser receptoras de enlace, reductoras, distribuidoras y rectificadoras.
- 3o. Por su construcción, del tipo interior, intempérie y blindadas.

Los elementos principales que constituyen una subestación son:

- * Transformador
- * Equipo de interrupción y desconexión
- * Barras colectoras o buses
- * Apartarrayos
- * Transformadores de medición y protección.

Todas las subestaciones son diseñadas en base a la potencia y al voltaje al cual operarán sin olvidar la corriente de circuito corto que deberán soportar.

* El principal elemento que constituye la subestación, es sin duda, el equipo de transformación y después el de interrupción y desconexión. Este puede ser de muchas formas y arreglos según sea el caso en particular.

Por ejemplo, si el sistema es de barras colectoras simples, entonces se contará con un interruptor principal y uno o varios interruptores de potencia secundarios según sea el arreglo. Los arreglos de desconexión o interrupción en las subestaciones, varían según sea el grado de complejidad que se tenga, de acuerdo al sistema y/o el voltaje de operación de la misma.

La forma de interrupción se efectúa por medio de interruptores de potencia, los cuales se clasifican según la forma de extinguir el arco y que puede ser en vacío, también en pequeño volumen de aceite, en aire con energía almacenada, en SF₆, etc., todo este tipo de interruptores operan bajo carga. La desconexión del sistema se hace por medio de cuchillas desconectadoras que generalmente operan sin cargarse les puede agregar unos aditamentos y hacerlas operar con carga.

* La subestación está siempre en función del arreglo de las barras, ya que éstas nos harán unir todos los circuitos necesarios, los arreglos pueden ser como sigue:

- Sistema de Barra Simple
- Sistema de Barras Dobles.

Con estos dos Sistemas de barras se pueden hacer una infinidad de arreglos según sea la carga de que se trate, así como la flexibilidad, la continuidad y seguridad que queramos que tenga el sistema.

* El transformador es el punto mas importante de toda subestación.

Los transformadores se clasifican de la siguiente forma:

- 1o.- Por su número de fases pueden ser: monofásico trifásico.
- 2o.- Por el tipo de núcleo que se fabrica: del tipo columna o del tipo acorazado.

- 3o.- Por su forma de enfriamiento pueden ser: por aceite, aire y/o agua.
- 4o.- Por el refrigerante de su aislamiento; de aislamiento tipo seco o del tipo sumergido en aceite.
- 5o.- Por el uso pueden ser de interior o interperie.

Los transformadores se construyen en diferentes tamaños y según la carga pueden ser transformadores para alumbrado, para distribución, para potencia. Los transformadores de alumbrado, generalmente son del tipo seco y su capacidad varía de 2 a 112.5 KVA.

Los transformadores de distribución son del tipo sumergidos en aceite y enfriamiento con aire, su capacidad varía de 10 a 500 KVA. Los transformadores de potencia pueden ser similares a los anteriores pero su capacidad varía y pueden llegar a fabricarse hasta varios cientos de KVA, su enfriamiento puede ser combinaciones de aceite-aire, aire forzado y agua forzada, etc.

La capacidad de los transformadores se define como los KVA que el devanado secundario es capaz de soportar por un tiempo determinado, bajo condiciones de diseño dadas, sin que su temperatura promedio de operación sea mayor a 65°C con una temperatura ambiente de 30°C promedio y 40°C máxima, para calcular la capacidad en los transformadores es necesario calcular los KVA de transformación y estos se calculan de la siguiente manera:

$$10. \text{ dos KVAT} = \text{Carga instalada} \times \frac{\text{factor de demanda}}{\text{factor de diversidad}}$$

El factor de demanda será igual a la relación que exista entre la demanda máxima de un sistema y la carga total conectada de dicho sistema, el factor de demanda será siempre menor que la unidad.

El factor de diversidad es la relación que existe entre la suma de las demandas máximas individuales de varias subdivisiones de un sistema y la demanda máxima de todo el sistema. De lo anterior el factor de diversidad variará entre 1 y 2.

* Apartarrayos.- Los apartarrayos o descargadores de sobretensión son aparatos eléctricos, cuya función es proteger el transformador y la instalación eléctrica contra los efectos de sobretensiones no permitidas.

En una instalación se pueden presentar sobretensiones internas y externas, las primeras se presentan durante maniobras de conexión y/o desconexión, su duración es de milisegundos y su valor depende del voltaje de operación y de la forma en que se aterriza el neutro de las sobretensiones externas, se presentan por efectos de descargas atmosféricas sobre las líneas aéreas y en general sobre las instalaciones de intemperie. Por lo general son monopolares de alta frecuencia y su valor es independiente de los parámetros de la red alcanzando magnitudes varias veces superiores a la tensión de operación.

Construcción.-

Un apartarrayo esta formado generalmente de una serie de cámaras de arco, limitadoras de corriente colocadas una sobre otra.

En paralelo a las cámaras de arco se encuentra colocada una resistencia no lineal. La función de una cámara de arco es que en el momento en que la tensión sobrepase un determinado valor inmediatamente se enciende un arco entre los bornes propiciando que la sobre tensión se descargue a través de las mismas cámaras, así como también de la resistencia no lineal.

El elemento más importante del descargador de sobre-tensión es un explosor de gran capacidad para limitar la corriente. En este explosor el arco eléctrico se desvía inmediatamente después de haberse formado, a una cámara de extinción, por efecto del campo eléctrico de una bobina.

La cámara de extinción del explosor esta construida por un material cerámico que adquiere en un proceso especial de calcinación, diferentes propiedades decisivas para su extinción eficaz y rápida, así como para una buena capacidad para conducir la corriente.

Las paredes de la cámara son permeables, de manera que los gases calientes puedan pasar al exterior durante el desplazamiento del arco eléctrico, y enfriarse intensamente.

* Transformadores de Medición.- Los transformadores de medición estan destinados a alimentar aparatos de medida, relevadores o aparatos analógicos. Tienen como función principal reducir a valores de baja tensión y no peligrosas, las características de tensión y de corriente en un sistema eléctrico, con el fin de emplear equipos de protección y medición normalizados, por consiguientes más económicos y que pueden manipularse sin peligro.

Los transformadores para medición se distinguen en dos categorías:

- 1o.- Transformadores de corriente
- 2o.- Transformadores de potencial.

CONCEPTOS ELEMENTALES PARA EL DISEÑO DE SUBESTACIONES ELECTRICAS.

V.2 GENERALIDADES.-

Durante algunos años a futuro no se vislumbran cambios notables en las formas convencionales de generación, transformación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, es decir que se seguirá generando por los métodos conocidos incluyendo a las plantas nucleoelectricas, existirán subestaciones eléctricas como las conocidas actualmente quizás con algunas variantes constructivas en el equipo principalmente, la transmisión y distribución de la energía eléctrica probablemente no sufra cambios sustanciales por lo que se puede decir que en principio los aspectos relacionados con el diseño son más o menos convencionales.

No obstante lo anterior es necesario tener claros los conceptos relacionados con el diseño de las subestaciones eléctricas ya que intervienen tantos elementos y criterios que en un momento dado se puede diseñar de acuerdo a ciertas normas o recomendaciones sin tener claridad de conceptos que permitan adoptar soluciones alternativas, que satisfagan mejor algunas condiciones técnicas o económicas y tomar decisiones mejor fundamentadas sobre las características relevantes del equipo a emplear.

Las consideraciones anteriores conducen a la necesidad de contar con una referencia que permita tener los elementos necesarios para el diseño de subestaciones eléctricas desde un punto de vista práctico tal que al Ingeniero o Técnico en ejercicio le sirva de auxilio directo y confiable y al estudiante del tema le dé una información más próxima a la realidad basándose en conceptos mas o menos convencionales de la Ingeniería dirigidos fundamentalmente a la aplicación para la solución de problemas reales lo que obviamente requiere de conceptos mas o menos precisos relacionados en principio con las instalaciones eléctricas.

Por Instalación Eléctrica se entenderá el conjunto de aparatos y accesorios destinados a la producción, distribución y utilización de la energía eléctrica.

En su forma más simple una instalación eléctrica estaría constituida de un generador, un elemento o conjunto de elementos consumidores, elementos capaces de cerrar y abrir el circuito y de las conexiones necesarias entre ellas.

Otro aspecto básico se refiere al tipo de corriente empleada que puede ser:

- a) Continua
- b) Alterna trifásica
- c) Alterna monofásica

Con relación a la producción de la energía eléctrica preferentemente se hace una corriente alterna trifásica. La transmisión de energía eléctrica por razones económicas se debe hacer en alta tensión y la transformación de tensión solo se puede hacer una corriente alterna, la utilización en su mayoría se hace en corriente alterna a excepción de algunas aplicaciones industriales o en los servicios eléctricos de transporte colectivo.

V.3 CLASIFICACION.-

Una subestación eléctrica es un conjunto de máquinas, 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. 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 suministrados por los generadores para permitir la transmisión en 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 1 200 KV en C. A.

Subestaciones Receptoras Primarias.-

Estas son alimentadas directamente de la 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 pueden 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.

Las subestaciones eléctricas también se pueden clasificar por el tipo de instalación como.

Subestaciones Tipo Intemperie.-

Estas subestaciones se construyen en terrenos expuestos a la intemperie y requieren de un diseño, aparatos y máquinas capaces de soportar el funcionamiento bajo condiciones atmosféricas adversas (lluvia, viento, nieve e inclemencias atmosféricas diversas) por lo general se adoptan en los sistemas de alta y extra alta tensión.

Subestaciones de Tipo Interior.-

En este tipo de subestaciones los aparatos y máquinas que se usan están diseñadas para operar en interiores, esta solución se usaba hace algunos años en la práctica europea, actualmente son pocos los tipos de subestaciones tipo interior y generalmente son usados en las industrias incluyendo la variante de las subestaciones del tipo blindado.

Subestaciones Tipo Blindado.-

En estas subestaciones los aparatos y las máquinas se encuentran muy protegidos y el espacio necesario es muy reducido en comparación a las construcciones de subestaciones convencionales, por lo general se usan en el interior de fábricas, hospitales, auditorios, edificios y centros comerciales que requieren de poco espacio para estas instalaciones, por lo que se usan por lo general en tensiones de distribución y utilización.

V.4 PRINCIPALES ELEMENTOS.

1) Introducción.-

Siempre es conveniente tener una idea de cuales son los principales componentes que constituyen una subestación eléctrica, así como la función que desempeñan dentro de los sistemas con el objeto de analizar con mayor propiedad las características mas importantes para una aplicación específica.

En particular para aquellas personas que se inician con los problemas de diseño es útil saber qué características deben resaltar de entre otras para un equipo, aparato o parte de una instalación ya que se corre el riesgo de que por desconocimiento de algunos conceptos se incurra en errores de apreciación o de selección.

Se puede mencionar que todos los elementos de una subestación eléctrica tienen una función que desempeñar y cada uno es importante de acuerdo a la ubicación que guardan dentro de la instalación, sin embargo, es obvio que es necesario conocer con cierto detalle aquellos elementos que por la función que desempeñan resultan de mayor importancia.

2) El Transformador.-

El transformador es la parte mas importante de una subestación eléctrica ya sea por la función que representa de transferir la energía eléctrica de un circuito a otro.

3) Elementos Principales de una Subestación Eléctrica de Media Potencia y Media Tensión.-

- a). Cuchillas desconectadoras.
- b). Interruptor.
- c). TC.
- d). TP.
- e). Cuchillas desconectadoras para sistema de medición.
- f). Cuchillas desconectadoras de los transformadores de potencia.
- g). Transformadores de potencia.
- h). Barras de conexión.
- i). Aisladores soporte.
- j). Conexión a tierra.
- k). Tablero de control y medición.
- l). Barras del tablero.
- m). Sujeción del tablero.

C A P I T U L O VI

S I S T E M A D E T I E R R A S Y P A R A R R A Y O S

VI.1.- SISTEMA DE TIERRAS.-

A) Generalidades.-

1.- Objeto y Naturaleza del Problema de Sistemas de Tierras.

De manera general se concibe que el objeto de un sistema de tierras es proporcionar seguridad al personal, proteger equipos y mejorar la calidad de servicio tanto en condiciones de funcionamiento normal como de falla en los sistemas.

En toda planta o subestación eléctrica, uno de los aspectos principales para la protección contra sobretensiones es disponer de una red de tierras adecuada a la cual se conecten todos los neutros del sistema cuando así se requiera caracazas de los equipos, estructuras metálicas y todas aquellas partes que requieran estar a potencial de tierra.

El problema de los sistemas de tierras presenta cierta complejidad debido principalmente a las características poco homogéneas

del terreno y sobre todo al escaso conocimiento que de ellos se tiene. Por otro lado, las condiciones que se establecen en el caso de fallas de aislamiento son difícilmente predecibles y no pueden integrarse en las ecuaciones de cálculo.

2.- Factores que deben tomarse en cuenta en el Diseño de un Sistema de Tierras.-

Como se mencionó en el inciso 1.- tres son los factores principales que siempre deberán tomarse en cuenta en el diseño de un sistema de tierras:

a) Seguridad del Personal.-

Es esencial que tanto en condiciones normales como de falla, no circule ninguna corriente que pudiera ser mortal a través del equipo al cual tenga acceso el personal. El voltaje que pudiera existir entre la carcasa de un equipo con respecto a tierra, no es una medida del peligro existente; el criterio que se debe seguir y tomar en cuenta es la diferencia de potencial entre cualquiera de dos puntos que pudieran ser tocados simultáneamente por una persona.

El objetivo debe ser, por lo tanto, asegurar que haya una conexión efectiva de muy baja impedancia y de una capacidad de corriente adecuada entre los dos puntos que pueden ser tocados simultáneamente por una persona y diseñar un arreglo de tal forma (tanto como sea posible) que la principal corriente de falla a tierra no fluya únicamente entre tales puntos.

b) Prevención de daño al Equipo.-

Es deseable bajo condiciones de falla limitar tanto como sea posible, el voltaje que aparece entre las carcasas de los equipos y la malla principal de tierras cuando circula una corriente de falla.

c) Operación Satisfactoria de los Equipos de Protección.-

Siempre que se tengan equipos de protección y que se utilicen la corriente de falla a tierra para su operación, se debe considerar la intensidad de la misma, ya que de ésta depende su correcto funcionamiento y con esto la eliminación adecuada de las fallas en los sistemas para obtener una mejor calidad en el servicio.

3.- Disposiciones Básicas de las Redes de Tierra.-

Para las redes de tierra se han considerado básicamente 3 sistemas:

- a) Sistema Radial.
- b) Sistema en Anillo.
- c) Sistema de Malla.

El sistema radial es el más barato pero el menos satisfactorio ya que, al producirse una falla en un aparato, se producen grandes gradientes de potencial.

Este sistema consiste en uno o varios electrodos a los cuales se conectan las derivaciones a cada aparato.

El sistema en anillo se obtiene colocando en forma de anillo un cable de cobre de suficiente calibre alrededor de la superficie ocupada por el equipo de la planta o subestación y conectando derivaciones a cada aparato, usando cable más delgado.

Es un sistema económico y eficiente; en él, se eliminan las grandes distancias de descarga a tierra del sistema radial. Los potenciales peligrosos son disminuidos al disiparse la corriente de falla por varios caminos en paralelo.

El sistema de malla es el más usado actualmente en nuestros sistemas eléctricos; consiste, como su nombre lo indica, en una malla formada por cable de cobre y conectado a través de electrodos (varillas) a partes más profundas para buscar zonas de menor resistividad.

Este sistema es el más caro pero también el más eficiente de los tres tipos.

4.- Elementos de una Red de Tierras.-

Los elementos que constituyen una red de tierras son:

a) Conductores.-

Los conductores utilizados en las redes de tierra son de cable de cobre desnudo de calibres adecuados, dependiendo del sistema que se utilice.

Se ha escogido el calibre mínimo de 2/0 AWG en conductores de cobre por razones mecánicas ya que eléctricamente, pueden usarse cables de cobre hasta No. 2 o 4 AWG.

Para sistemas en anillo se ha usado cable de cobre de 500 MCM y, en cambio, para el sistema de malla, se está usando en la actualidad cable de cobre calibre 2/0 o 4/0 AWG.

Se utiliza el cobre por su mejor conductividad, tanto eléctrica como térmica, y además, por ser resistente a la corrosión.

b) Electrodos.-

Son las varillas que se "clavan" en el terreno y que sirven para que la malla esté en contacto con zonas más húmedas del sub suelo y por lo tanto con menor resistividad eléctrica. Son especialmente importantes en terrenos desprotegidos de vegetación y cuya superficie, al quedar expuesta a los rayos del sol, está completamente seca.

Los electrodos pueden ser fabricados con varillas de fierro galvanizado o bien varillas tipo "copperweld".

En el caso de varillas de fierro galvanizado pueden usarse en terrenos donde la constitución química no afecte a dicho material.

En terrenos cuyas componentes son más corrosivas, se utilizan las varillas tipo "copperweld". Una varilla de este tipo consiste en una varilla de fierro a la cual se adhiere un recubrimiento de cobre, este cobre está soldado en forma continua a la varilla de fierro. Este material combina las ventajas del cobre con la alta resistencia mecánica del fierro, tiene buena conductividad, excelente resistencia a la corrosión y buena resistencia mecánica para ser clavada en el terreno.

c) Conectores y Accesorios.-

Son aquellos elementos que nos sirven para unir los conductores de la red de tierras, además de conectar las varillas o electrodos y los conductores derivados de equipos y estructuras a la red.

Los conectores utilizados en los sistemas de tierras son principalmente de tres tipos:

- c.1) Conectores Mecánicos.
- c.2) Conectores Soldables.
- c.3) Conectores a Presión.

Todos los tipos de conectores deben poder soportar la corriente de la red de tierras en forma continua.

Los conectores mecánicos están formados generalmente por 2 piezas las cuales se unen por medio de tornillos; sus características principales son: Facilidad de instalación pues pueden desconectarse de la red para poder hacer mediciones en la misma. Tienen algunas veces problemas de corrosión lo cual se elimina dándole un tratamiento especial a la junta.

Los conectores mecánicos deberán ser, cuando sea posible, accesibles para inspección y mantenimiento.

Se ha incrementado el uso de los conectores soldables debido al ahorro de tiempo y costo que se obtiene al realizar muchas conexiones. Con este tipo de conectores se obtiene una conexión permanente, eliminando además la resistencia de contacto, está relativamente libre de corrosión y permite el uso de conductores pequeños debido a su máxima limitación de temperatura (450°C) comparado con la máxima permitida para los conectores mecánicos (250°C), sin embargo, tienen algunas limitaciones: No tienen medios para separarlos y poder hacer mediciones en la red, lo cual indica que habría que usar conectores mecánicos en algunas partes de la red para poder realizar dichas mediciones, no se pueden usar en presencia de atmósferas volátiles o explosivas.

Los conectores soldables se usan generalmente en las instalaciones que van enterradas y aquellas donde el conductor de tierra no va a ser separado de los equipos como, por ejemplo, para manteni-

miento, cambio frecuente de posición, etc.

Los conectores a presión son los más económicos, fáciles de instalar, presentando algunas desventajas tales como la de no poder desconectarse de la red para hacer mediciones y problemas de corrosión.

B) Límites de Corriente Tolerables por el Cuerpo Humano.-

La conducción de altas corrientes a tierra en instalaciones eléctricas, debidas a disturbios atmosféricos o a fallas del equipo obliga a tomar precauciones para que los gradientes eléctricos o las tensiones resultantes no ofrezcan peligro a los operadores o en general al personal que labora en las plantas.

Intensidades del orden de miles de amperes producen gradientes de potencial elevados en la vecindad del punto o puntos de contacto a tierra y si además se dá la circunstancia de estar apoyado en dos puntos, entre los cuales existe una diferencia de potencial debida al gradiente arriba indicado, pueden sufrir una descarga de tal magnitud que sobrepase los límites tolerables; en tal situación, si la corriente que circula por el cuerpo pasa por algún órgano vital como el corazón, puede resultar en fibrilación ventricular y sobrevénir la muerte.

El umbral de percepción en el cuerpo humano se acepta generalmente como de aproximadamente 1 miliampere.

Si el camino de la corriente incluye la mano y el antebrazo, las contracciones musculares, el malestar y el dolor aumenta al crecer la corriente y bastan intensidades de unos cuantos miliampere para evitar que el sujeto pueda soltar el objeto agarrado por la condición de contracción antes mencionada.

Se pueden tolerar intensidades de corriente superiores, sin producir fibrilación si la duración es muy corta.

La ecuación que liga los parámetros de la intensidad de corriente y el tiempo que puede tolerarla un organismo es:

$$I_k^2 \cdot t = 0.0135$$

$$\text{De la cual } I_k = \frac{0.116}{\sqrt{t}} \text{ Amperes}$$

Donde: I_k = Corrientes rms que circula por el cuerpo

t = Tiempo de duración del choque eléctrico en segundos.

0.0135 = Constante de energía, derivada empíricamente.

Es necesario para una buena comprensión tomar en cuenta diversos casos que pueden presentarse al hacer contacto con superficies a diferente potencial.

1.- Diferencias de Potencial Tolerables. Potencial de paso, de contacto y de transferencia.-

Para la determinación de los potenciales de paso, contacto y de transferencia se hace uso de circuitos equivalentes, los cuales incluyen las resistencias del sistema de tierras (R_1 , R_2 y R_0) la resistencia de contacto de la mano (para potenciales de contacto), la resistencia de los zapatos, la resistencia R_F del terreno inmediato debajo de cada pie y la resistencia del cuerpo R_K .

La resistencia de contacto de la mano puede ser muy baja y considerarse igual a cero lo mismo la resistencia de los zapatos.

La resistencia del terreno debajo de los pies puede afectar apreciablemente el valor de la corriente por el cuerpo, un factor el cual puede ser provechoso en algunas situaciones difíciles.

El pie puede considerarse equivalente a una superficie cubierta por un electrodo de placa circular con un radio de aproximadamente 8 cm. y la resistencia del terreno puede calcularse en términos de la resistividad superficial (ρ_s (en Ohms-metro) del terreno.

Se ha determinado que la resistencia de los dos pies en serie (potencial de paso) es aproximadamente 6 ρ_s ohms, y la resistencia de los dos pies en paralelo (potencial de contacto) es aproximadamente 1.5 ρ_s ohms. Para aplicaciones prácticas, la resistencia R_F en ohms para cada pie puede suponerse de 3 ρ_s .

El valor de la resistencia del cuerpo humano (incluyendo la resistencia de la piel y la resistencia interna del cuerpo), es mucho más difícil establecer. Algunos autores sugieren valores que van desde 500 hasta algunos miles de ohms. Para propósitos prácticos un valor de 1 000 ohms puede usarse para representar la resistencia del cuerpo desde una mano a ambos pies y también para la resistencia de un pie al otro.

De acuerdo a esto podemos fijar los siguientes potenciales:

a) Potencial de Paso.-

El potencial de paso es la diferencia de potencial que aparece entre los 2 pies (generalmente espaciamiento de 1 metro) cuando una persona está parada en la superficie del terreno y en el cual se presenta un gradiente a causa del flujo de la corriente de falla.

En la figura No. 1 se muestra el circuito equivalente de la diferencia de potencial de un "paso" o contacto entre los pies.

Del circuito equivalente tenemos:

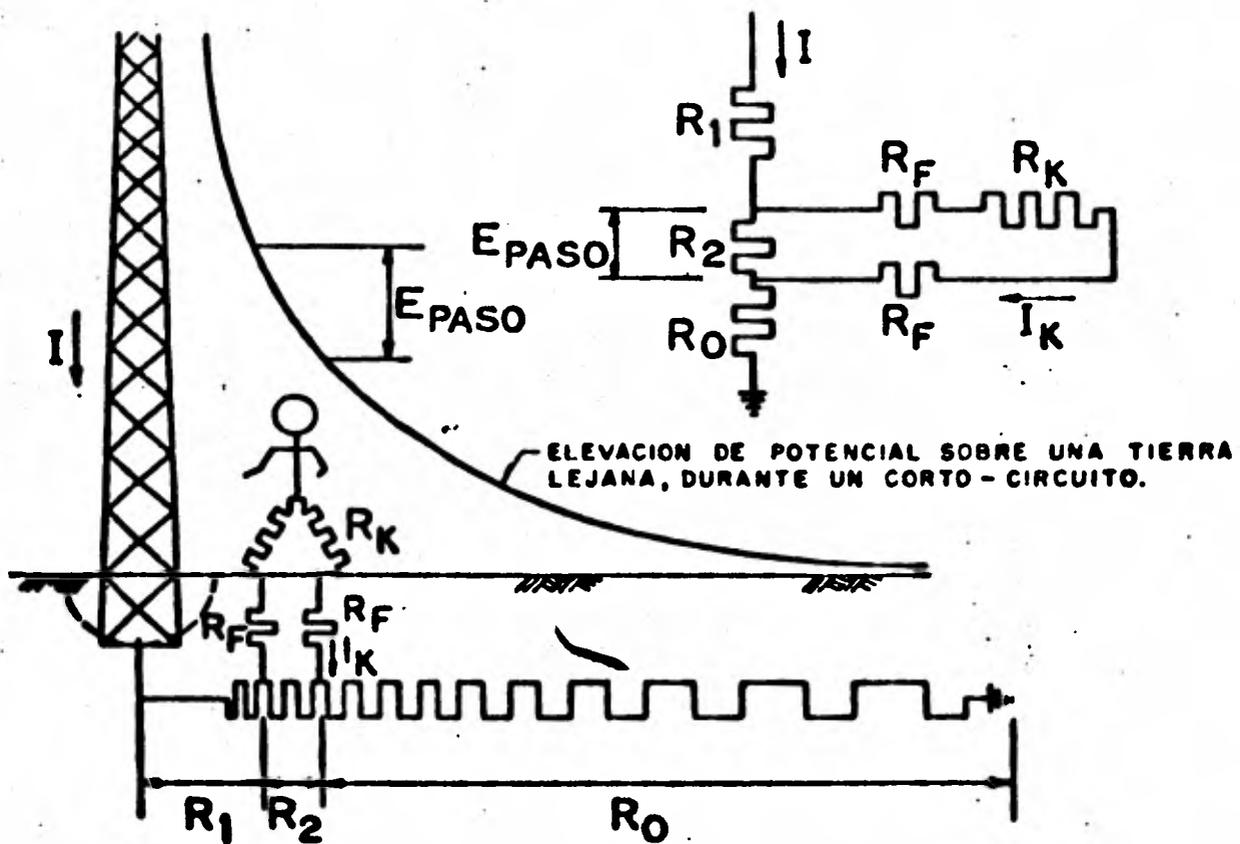
$$E_p = (R_K + 2R_F) \times I_k$$

$$R_K = 1\ 000$$

$$R_F = 3 \rho_s$$

$$I_k = 0.116 / \sqrt{t}$$

$$E_p = (1\ 000 + 6 \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$



TENSIONES DE PASO, CERCA DE UNA ESTRUCTURA CONECTADA A TIERRA.

FIG. 1

$$E_p = \frac{116 + 0.7 s}{\sqrt{t}} \quad \text{Volts - - - - -}$$

Que es el potencial de paso tolerable por el cuerpo humano.

b) Potencial de contacto.-

El potencial de contacto es la diferencia de potencial a través del cuerpo de una persona entre una mano y los dos pies cuando está tocando un objeto o equipo aterrizado.

La magnitud del potencial de contacto dependerá del gradiente en el espacio de tierra que existe entre el objeto aterrizado o el conductor de la red y el punto en el cual la persona está parada.

El potencial será más grande cuando la persona está parada en el centro de la malla. Este potencial de contacto máximo es conocido como potencial de malla.

En la Figura 2.- se muestra el circuito equivalente de la diferencia de potencial para un "contacto" entre la mano y los dos pies.

Del circuito equivalente tenemos:

$$E_c = (R_k + \frac{R_F}{2}) \times I_k$$

$$E_c = (1000 + 1.5 \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

$$E_c = \frac{116 + 0.17 \rho_s}{t} \quad \text{Volts. - - - - -}$$

c) Potencial de Transferencia.-

Este potencial puede ser considerado como un caso especial del potencial de contacto.

Una persona parada dentro del área de una planta toca un conductor aterrizado en un punto remoto; o una persona parada en un punto remoto toca un conductor conectado a tierra en esta planta. Aquí la tensión del choque eléctrico puede ser esencialmente igual a la elevación total de potencial de la malla de tierra y no la fracción de este total que se encuentra con los potenciales de paso y contacto.

En la figura 3.- se muestra el circuito equivalente en el cual aparece el potencial de transferencia.

Para evitar estas condiciones peligrosas se dan recomendaciones de como conectar ciertos elementos de las plantas o subestaciones, las cuales se indican en el inciso E.

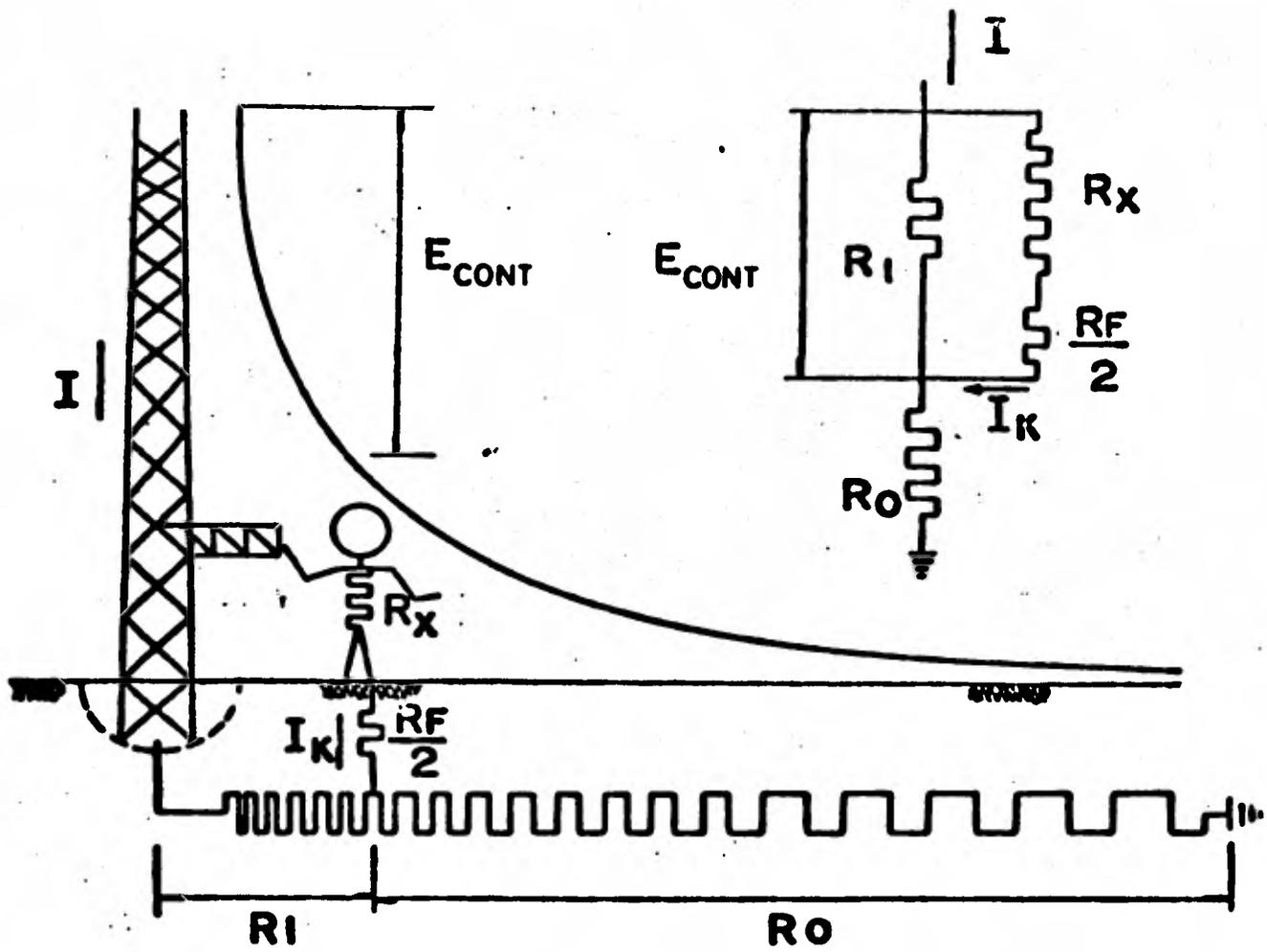
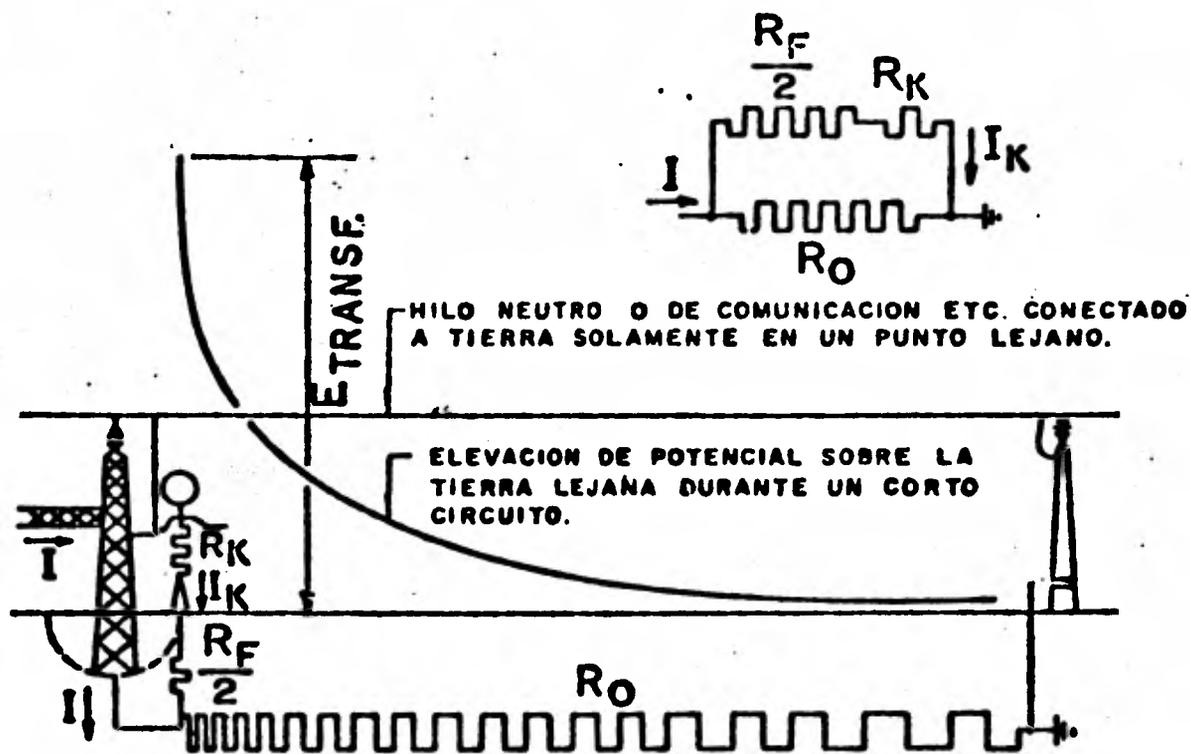


FIG. 2



EJEMPLO DEL PELIGRO LIBRADO A POTENCIALES TRANSFERIDOS.

FIG. 3

C) Procedimiento para el Cálculo de un Sistema de Tierras.-

Con los potenciales tolerables de paso y de contacto calculados podemos diseñar y construir un sistema de tierras siguiendo los siguientes pasos:

- a) Investigación de las características del terreno.
- b) Determinación de la corriente máxima de falla a tierra.
- c) Diseño preliminar del sistema de tierras.
- d) Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.
- e) Cálculo del máximo aumento de potencial en la red.
- f) Cálculo de los voltajes de paso en la periferia.
- g) Investigación de los potenciales de transferencia.
- h) Corrección o refinamiento del diseño preliminar como se indicó en los puntos f y g.
- i) Construcción del sistema de tierras.
- j) Mediciones en campo de la resistencia del sistema de tierras.
- k) Revisión de los puntos e, f y g basados en las mediciones actuales.
- l) Modificaciones del Sistema de Tierras (si procede), de acuerdo con lo obtenido en el punto k.

Varios de los puntos descritos arriba pueden usarse para verificar la seguridad de plantas o subestaciones existentes y aplicar, si se requiere, medidas correctivas apropiadas.

Para minimizar el tiempo de cálculo, algunos diseñadores prefieren suponer un voltaje de malla máximo permisible y calcular la longitud mínima requerida para el conductor de tierras.

D) Revisiones Periódicas de la Red.-

Después que el sistema de tierras ha sido instalado y probado, deberán realizarse pruebas periódicamente para determinar si la resistencia permanece constante o se ha incrementado.

Si las últimas pruebas realizadas muestran que la resistencia se ha incrementado a valores no deseados, deberán tomarse las medidas necesarias para reducir la resistencia, tales medidas pueden ser aumento de electrodos de tierra (varillas), incremento en el contenido de humedad en el terreno o por medio de tratamientos químicos.

E) Equipos que Deben Conectarse a Tierra.-

Deberán conectarse a tierra para evitar que en algún momento puedan quedar a un potencial diferente del de tierra y ser tocados por el personal, los siguientes equipos:

1.- Estructuras de Edificios.- Deberán conectarse a tierra mediante cable de cobre empleando de preferencia conectores soldables por fusión, deberán conectarse las columnas de las esquinas y las intermedias que así lo requieran para tener las conexiones a distancias que no excedan de 20 metros.

2.- Estructuras de Subestaciones así como los equipos metálicos que se encuentren ahí instalados.

3.- Cercas metálicas en las subestaciones. Deberán conectarse los postes de las esquinas así como las puertas a los postes para permitir una continuidad eléctrica en las mismas.

4.- Recipientes metálicos y equipo industrial o de proceso, para los que se usará de preferencia conectores soldables del tipo cable a placa.

5.- Vías de ferrocarril.

6.- Cubiertas metálicas que contengan o protejan equipo eléctrico tales como transformadores o tableros los que deberán conectarse en dos puntos de la red.

7.- Carcazas de motores y generadores, independientemente del tamaño y tensión.

8.- Estaciones de botones o equipo de control cuando así se requiera.

9.- Ductos y charolas metálicas para cables.

10.- Blindajes y flejes de armado de los cables así como las cubiertas de plomo de los mismos.

11.- Carcazas del equipo eléctrico portátil. Estas quedarán conectadas a tierra a través de los contactos polarizados a los que se conectan.

12.- Tuberías conduit y tuberías de proceso, a menos que los soportes de las mismas estén conectados firmemente a tierra.

13.- Carros tanque y autos tanque al momento de la descarga.

14.- Neutros de generadores y transformadores (cuando así se requiera)

15.- Apartarrayos y equipos supresores de sobretensiones.

VI.2 SISTEMA DE PARARRAYOS.-

A) Generalidades.-

El principio fundamental de la protección contra descargas atmosféricas es proporcionar los medios adecuados para que una descarga pueda incidir con seguridad sobre una construcción y sea conducida en forma inofensiva hasta tierra, de manera que no origine daños durante su recorrido.

Existen varias teorías para explicar la acumulación de cargas eléctricas en las nubes. De acuerdo con una de ellas, las gotas de agua existentes en una nube bajo la acción de una corriente ascendente de aire frío, empiezan a congelarse y aparece una diferencia de potencial entre las gotas de agua y los cristales de hielo; las gotas de agua quedan cargadas positivamente y son arrastradas por la corriente ascendente de aire a la parte superior de la nube. Las gotas que se han congelado y acumulado formando cristales de hielo más pesados que tienen una carga negativa, descienden a la parte inferior de la nube.

Esta carga negativa induce una carga positiva en la tierra; debido a la gran extensión de la tierra, el gradiente de potencial producido por esta carga es generalmente bajo, excepto cuando existen protuberancias como edificios altos, torres de líneas de transmisión, etc. En cambio los gradientes de potencial en la nube,

debidos a la carga eléctrica negativa acumulada en la parte inferior, pueden ser muy altos y alcanzará un valor capaz de iniciar una descarga a través del aire, de intensidad relativamente baja y de polaridad negativa. Cuando esta descarga alcanza la tierra se produce una corriente de gran intensidad y de polaridad positiva que circula en sentido inverso, de la tierra a la nube.

El tiempo en que la onda alcanza el valor de cresta es del orden de uno a diez microsegundos y decae a un valor de la mitad del valor de cresta en unos diez a 100 microsegundos.

B) Elementos de un Sistema de Pararrayos.-

Un sistema de pararrayos está formado por 3 elementos fundamentales:

- a) Un elemento receptor de la descarga, constituido por las puntas de protección y los cables colocados en las partes de la estructura que puedan recibir una descarga.
- b) Un circuito a tierra, el cual esta formado por los conductores que deben transportar a tierra la corriente de descarga a través de un recorrido determinado y de baja resistencia eléctrica pasando generalmente por las partes exteriores de los edificios.
- c) Electrodo de tierra, llamados también dispersores, constituyen el punto de unión entre el sistema y el terreno facilitando la dispersión de la corriente en el mismo.

Es el punto crítico del sistema, ya que de no lograrse una resistencia a tierra lo suficientemente baja no se lograrán condiciones de seguridad satisfactorias.

C) Factores que deciden sobre la necesidad de instalar o no un Sistema de Pararrayos.-

a) Frecuencia y severidad de las tormentas.-

La necesidad de protección varía con cada región, aunque no necesariamente en proporción directa de la frecuencia de tormentas ya que unas cuantas de gran severidad pueden obligar al uso de una protección mayor que la necesaria para un gran número de ellas de menor intensidad.

b) Valor y Naturaleza del Edificio y su Contenido.-

El valor y naturaleza del edificio y su contenido obviamente son factores vitales para la decisión de instalar protección en el mismo.

La naturaleza del edificio se refiere al material de que está construido: Madera, acero, techos metálicos, etc.

El contenido del edificio también debe considerarse en cuanto a que sea o no reemplazable. La presencia de polvos o materiales combustibles es un factor importante que habrá de tomarse en cuenta.

c) Daños Personales.-

Un factor importante a considerar es el efecto que puede producir una descarga sobre un edificio o construcción antigua o insegura y por consiguiente a sus ocupantes.

d) Exposición relativa del Edificio.-

Se refiere este inciso a la probabilidad que tiene un edificio de recibir descargas en cuanto a su localización.

Por ejemplo, en ciudades el peligro no es tan grande como el que existe a campo abierto o en zonas montañosas.

e) Pérdidas Indirectas.-

Son las pérdidas que acompañan a la destrucción de un edificio, tales como interrupción de negocios, operaciones y procesos de fabricación, etc.

D) Consideraciones Básicas de Diseño.-

Al realizar el diseño de un sistema de pararrayos deberán considerarse los siguientes aspectos:

a) Selección de los puntos o partes que con mayor probabilidad estarán sujetas a descargas, con el objeto de instalar en éstos las puntas para recibirlas, proporcionándoles una trayectoria directa a tierra.

Las puntas pararrayos deben colocarse con la suficiente altura sobre la estructura para evitar el peligro de fuego causado por el arco.

b) Los conductores deben instalarse de manera que ofrezcan la menor impedancia al paso de la corriente de descarga entre las puntas y tierra, la trayectoria más directa es la mejor.

No deben tenerse curvas ni ondas muy cerradas pues el arco podría saltar entre ellas.

La impedancia a tierra es en la práctica inversamente proporcional al número de trayectorias separadas, por lo que de cada punta deberán partir al menos dos trayectorias hacia tierra.

Si se conectan los conductores de tal forma que formen una reja o jaula que encierre al edificio o estructura, se aumenta el número de trayectorias y por consiguiente se reduce la impedancia.

E) Interconexión del Sistema de Pararrayos con el Sistema General de Tierras.-

El National Electrical Code (NEC), en su artículo 250-86 especifica que las varillas y conductores del sistema de pararrayos no se emplearán en sustitución de los electrodos de tierra del sistema general de tierras.

Esto no significa la prohibición de entrelazar los electrodos de tierra de los diferentes sistemas requeridos en una planta, ya que el NEC recomienda esa interconexión para mantener los diferentes electrodos al mismo potencial.

Es decir, que no existe ningún peligro por el hecho de que el equipo eléctrico que deba aterrizar se encuentre también conectado a los electrodos de tierra del sistema de pararrayos.

Por lo anteriormente expuesto, se recomiendan que todos los dispositivos y componentes del sistema de pararrayos sean conectados al sistema general de tierras.

Si en el área donde se localiza la estructura a proteger no existe red de tierras, el diseño del sistema de pararrayos incluirá la determinación del número y localización de electrodos de tierra de acuerdo a como se especifica en los incisos siguientes.

F) Protección a Edificios y Estructuras.-

1.- Conductores.-

Los conductores empleados para la protección a edificios podrán ser de los siguientes tipos:

a) Conductores de cobre.-

Deberán ser de alta conductividad (98%) y no menor que el calibre 2 AWG.

b) Conductores tipo Copperweld.-

La proporción de cobre en este tipo de conductores deberá ser tal que la conductancia no sea menor al 30% de la conductancia de una sección transversal equivalente de cobre sólido.

c) Cable especial para pararrayos.-

Este cable puede ser de cobre o aluminio, su característica principal es tener una cantidad de aire en el espacio interno de cableado para permitir un enfriamiento rápido en caso de descargas.

Las uniones entre conductores deberán ser mínimas, y las que se requieren deberán ser mecánicamente fuertes y de conductividad eléctrica adecuada.

Los conductores se fijarán al edificio o estructura por medio de soportes (abrazaderas), los cuales serán adecuados para no propiciar la corrosión electrolítica en presencia de humedad. En la práctica estos soportes tendrán una separación no mayor de 1.20 metros para conductores verticales y 2.00 metros para conductores horizontales.

2.- Puntas Pararrayos.-

Las puntas serán equivalentes en peso y rigidez a un tubo de cobre que tenga un diámetro exterior de 5/8 de pulgada y con un espesor de pared igual a 0.032 de pulgada, podrán ser de sección transversal sólida o tubular.

Las puntas se fijarán sólidamente a su base o formarán parte de ella. El área transversal conductora de la base será al menos equivalente al área transversal de la punta.

La altura de las puntas deberá ser tal que el extremo superior de la misma esté a no menos de 25 cm., sobre el objeto a proteger, en general, la altura dependerá del carácter y contorno del objeto. En puntas mayores de 60 cm., deberá usarse tripie.

3.- Prevención de Daños.-

a) Corrosión.-

Si alguna parte del sistema de pararrayos está expuesta a la acción directa de gases corrosivos, deberá investigarse sobre el tipo de protección necesaria dependiendo de la naturaleza de los gases, por ejemplo aplicación de recubrimientos, pinturas, etc.

b) Daño Mecánico.-

Si alguna parte del sistema está expuesta a daño mecánico deberá protegerse preferentemente con moldes o tubos no metálicos, como madera o PVC.

Si se usa tubo metálico para la protección, el conductor deberá conectarse a la tubería en ambos extremos.

4.- Localización de Puntas y Conductores.-

En general las puntas se colocarán en todas aquellas partes que sean probables puntos de recepción de descargas y que puedan ser dañadas por éstas.

Partes no metálicas.

En el caso de partes y elevaciones no metálicas, tales como torres, chimeneas, etc., la punta será colocada sobre el objeto a proteger o fija a él o de lo contrario separada de él 60 cm. máximo.

Bordes y pretilas de techos planos.-

Las puntas se localizarán a intervalos no mayores de 7.5 metros, considerando para aquellas una altura de 60 cm.

Si existen partes que sobresalen y elevaciones en el techo de un edificio, se localizarán en ellas las puntas con la misma distancia máxima de 7.5 metros, en estos casos deberán proyectarse los conos de protección para eliminar las puntas del plano inferior que no sean necesarias. En cualquier caso, cada punta deberá tener al menos 2 trayectorias a tierra.

El borde del techo es la parte que tiene mayor probabilidad de recibir descargas en edificios de techo plano; si éste es además de gran extensión, es conveniente colocar puntas adicionales interiores, de tal forma que no existan más de 15 metros entre dos adyacentes; en tal caso, los conductores adicionales proporcionarán al menos dos trayectorias a tierra a cada punta.

Partes metálicas.-

Las partes metálicas de edificios, tales como ventiladores, chimeneas y otros objetos que son probables puntos de recepción de descargas, pero que no son apreciablemente dañadas por ellas no necesitan ser protegidas con puntas pararrayos pero si deberán conectarse solidamente al sistema con cable del mismo calibre que el conductor principal.

5.- Trayectoria de los Conductores.-

En general, los conductores se llevarán sobre los techos y bajarán por las esquinas y los lados en tal forma que constituyan lo mas cercano posible y como las condiciones lo permitan, una malla cerrada.

Los conductores del techo se llevarán a lo largo de filos y bordes de techos planos y, cuando sea necesario, sobre superficies planas en tal forma que enlacen cada punta con las restantes.

Los conductores que rodean cubiertas, superficies y techos planos se conectarán de manera que formen una malla cerrada.

Siempre que sea posible, los conductores en los techos permanecerán en un plano horizontal y siempre que cambien de dirección lo harán en un ángulo que no sobrepase los 90°

a) Conductores de Bajadas.-

Los conductores que descienden a tierra se llevarán a través de partes exteriores del edificio, como esquinas, tomando en consideración los mejores lugares para hacer conexiones de tierra y la localización de puntas pararrayos.

b) Número de Conductores de Bajada.-

Los conductores de bajada se instalarán de preferencia en esquinas opuestas diagonalmente, en estructuras cuadradas o rectangulares, y en puntos opuestos diametralmente en estructuras cilíndricas.

La localización de conductores de bajada depende de la localización de las puntas, dimensiones del edificio, trayectoria mas directa encontrada, localización de objetos metálicos que requieren conexión al sistema y lugar donde las conexiones a tierra sean favorables. En cualquier caso, la estructura deberá tener al menos 2 conductores de bajada, cada uno con su correspondiente conexión a tierra.

Las estructuras cuyo perímetro sea mayor de 75 metros, tendrán un conductor de bajada adicional por cada 30 metros adicionales de perímetro o fracción de ellos.

El número total de conductores de bajada en estructuras de techo plano y en estructuras de forma irregular, será tal que la distancia promedio entre dichos conductores no exceda de 30 metros.

Se muestra en esta forma una instalación típica de pararrayos en un edificio con techo plano.

6.- Interconexión de Masas Metálicas.-

Los objetos metálicos de tamaño considerable que estén instalados dentro de la estructura o cerca de ella, serán interconectados al sistema de pararrayos. La interconexión evita la aparición de chispas o arcos entre algún punto del sistema y dichos objetos en

el momento de una descarga.

El principio básico es la localización de lugares donde sea mayor la tendencia a producirse arcos para proporcionarles trayectorias metálicas apropiadas.

7.- Conexiones a Tierra.-

A cada conductor de bajada se le proporcionará una conexión a tierra.

Cuando una tubería de agua entre a un edificio, al menos uno de los conductores de bajada deberá conectarse a él, de preferencia en un punto localizado inmediatamente fuera de la cimentación.

Como en el caso de las redes de tierra vistas anteriormente, los electrodos para los sistemas de pararrayos consistirán de varillas enterradas a no menos de 3 metros de profundidad en el terreno.

Si el terreno es de alto contenido de arena, grava o piedra, se instalarán rehiletos que presentan mayor área de contacto con la tierra; si existe roca muy cerca de la superficie, las conexiones pueden efectuarse cavando trincheras radiales al edificio y enterrando los extremos inferiores de los conductores de bajada en una distancia mínima de 4 metros.

C A P I T U L O V I I

S I S T E M A D E E M E R G E N C I A

VII.1 INTRODUCCION.-

En las instalaciones que se encuentran localizadas en sitios que por su peculiar operación requieren de un suministro ininterrumpido de energía eléctrica, se hace necesaria la anexión de una planta eléctrica de emergencia al sistema básico desde las fases de la planeación y proyecto hasta las de ejecución, operación y mantenimiento de la obra instalada.

Este tipo de necesidades se presentan generalmente en sistemas provistos de cargas cuya continuidad de servicio es imprescindible debido a su funcionamiento en sí, o a consideraciones externas ajenas al equipo, que influyen decisivamente en la resolución de instalar una planta de emergencia. Ejemplos de las cargas continuas por su funcionamiento.

a) Equipos Convertidores de Energía que deben seguir funcionando a causa de sus características como en el caso de motores de gran tamaño; o a causa de su aplicación como en el caso de procesos continuos como son los de la industria papelera, química, cementera, etc.

Quando un motor de gran tamaño es detenido por falta de suministro energético, requiere de una cantidad adicional de tiempo para un nuevo arranque debido a la gran inercia que debe vencer antes de llegar a su velocidad de régimen. Es obvio además que el deterioro a causa de interrupciones y arranques frecuentes es grave al llegar a cierto límite y si estas perturbaciones se repiten en lapsos de tiempo relativamente cortos, se corre el riesgo de dañar seriamente el motor, sus alimentadores o sus equipos accesorios por el incremento de temperatura que corrientes de arranque repetitivas originan. Ante esta situación, se procede de la siguiente manera cuando no se dispone de planta de emergencia: Por medio de relevadores de tiempo automáticos, se retarda un nuevo arranque por un tiempo definido que sea suficiente para averiguar si la falla es del sistema suministrador o del equipo dependiente de la instalación en la que se encuentra ese mismo motor, con el fin de conocer con seguridad si es posible que la falla se repita, o si persiste, corregirla.

En cambio, cuando se dispone de un equipo emergente, se puede ajustar de tal manera, que evite incluso que el motor se detenga, arrancando al corto tiempo de la interrupción de suministro tan rápido como sea necesario.

b) Equipos de computación electrónica en los que un corte de energía borra las memorias que contiene. Ejemplos de cargas continuas por consideraciones externas:

c) Iluminación en áreas de peligro, de circulación de vigilancia o de actividad contínua.

d) Equipos cuyo funcionamiento tiene valores intrínsecos muy estimados, como los que se usan en ciertos hospitales (seguridad), supermercados (comercial), cines (servicio), etc.

Las plantas de emergencia aprovechan la energía térmica de un combustible (gasolina, diesel, gas) para producir movimiento en un motor de combustión interna y éste a su vez, mueve a un generador de corriente alterna.

En estos equipos, la fuente de energía eléctrica es un generador síncrono, y en el caso de combustible diesel da una eficiencia aproximada de 0.31 lt x kw/h. Las capacidades comerciales de este tipo de plantas son desde 650 w hasta 1 000 kw, por lo general.

Para la instalación de las mismas se requiere un permiso especial que se otorga cuando se justifica ampliamente generar la energía de tal manera. Resulta más barata la energía obtenida de esta forma que la suministrada por la Cía., respectiva.

Al solicitar una planta se especifica su uso en general (alumbrado, motores), lugar de operación (altitud, clima) y la letra del código de los motores en el caso de que existan, para preveer su corriente de arranque. Las especificaciones más importantes son:

- 1) Marca
- 2) Modelo
- 3) KVA y KW continuos
- 4) KVA y KW emergencia
- 5) Factor de potencia
- 6) Voltaje de generación
- 7) Regulación de voltaje
- 8) Frecuencia
- 9) Regulación de frecuencia
- 10) No. de fases
- 11) No. de hilos
- 12) Capacidad del equipo de transferencia.

VII.2 GENERALIDADES

Como su nombre lo indica, las plantas eléctricas de emergencia se utilizan en los casos en que las condiciones de falla del suministro de corriente eléctrica pongan en peligro vidas humanas, se pierda o dañe una producción determinada o afecte otros bienes, etc.

Para el diseño de este tipo de plantas eléctricas, se deben tomar en consideración la capacidad de los equipos que es necesario no interrumpan su funcionamiento, así como las necesidades mínimas de alumbrado, para poder permitir la circulación de personas sin que se ponga en peligro su vida.

En los casos de hospitales u otras aplicaciones en que se amenaza la vida humana, pueden considerarse a las plantas eléctricas de emergencia como un salvavidas. De aquí la gran importancia de poner una gran atención no sólo a la buena selección, adquisición e instalación de las mismas, sino mantener con gran acuosidad y esmero todas las características que aseguren su buena operación.

Las plantas eléctricas de emergencia son utilizadas en la mayor parte de los Sistemas Eléctricos de Potencia modernos, en su

etapa de distribución, en donde se usan frecuentemente dos ó más fuentes de alimentación, por ejemplo:

- a) Instalación de hospitales en las áreas de cirugía, recuperación, cuidado intensivo, salas de tratamiento, etc.
- b) Para la operación de servicios de importancia crítica, como son los elevadores públicos.
- c) Instalaciones de alumbrado en locales a los cuales acuden un gran número de personas, estadios deportivos, aeropuertos, comercios, transportes colectivos, hoteles, cines, etc.
- d) En la industria de proceso continuo.
- e) En instalaciones de computadoras, bancos de memoria, equipos de procesamiento de datos, radar, torres de control en los aeropuertos, pistas de aterrizaje para aviones, etc.

En algunos casos, como los últimos ejemplos citados, en ningún momento debe desaparecer el suministro de Energía Eléctrica, aún cuando falle la fuente que los abastece, ya que las consecuencias podrían ser fatales en muchos de los casos, por lo que el diseño de este tipo de sistemas, debe tomar en cuenta estos factores. Este tipo de problemas son solucionados de diferentes formas, entre las cuales podemos mencionar:

- 1.- Alimentación con Corriente Alterna - Corriente Directa (dependiente de baterías), uso generalmente para alumbrado.
- 2.- Conversión - Batería - Inversión.
- 3.- Generación continua, con suministro Normal como Emergencia.

Una planta eléctrica de emergencia, está diseñada para operar durante períodos relativamente cortos, ya que se supone que el suministro general de Energía Eléctrica, se hace cargo de la demanda normal y solamente al fallar ésta, se requiere un sustituto para algunas cargas y, por consiguiente, en lugares con buen suministro eléctrico, una planta eléctrica de emergencia llega a operar solo una cuantas horas por año, aún sumándole los tiempos de ejercitación semanal que se aconseja.

VII.3 CLASIFICACION.-

Las plantas eléctricas de emergencia las podemos clasificar de diferentes formas:

- 1.- De acuerdo al tipo de combustible:
 - a) Con motor de gasolina
 - b) Con motor de gas L.P.
 - c) Con motor a diesel
 - d) Con motor a vapor.

Como se puede deducir, este tipo de clasificación se debe primordialmente al tipo de combustible que utiliza el motor para hacer trabajar el generador.

- 2.- Por su operación:
 - a) Manuales
 - b) Automáticas.

a) Las plantas manuales, son aquellas que requieren para su operación que se opere manualmente un interruptor para arrancar o parar dicha planta. Normalmente, este tipo de plantas se utilizan en aquellos lugares en donde la interrupción del suministro de Energía Eléctrica, se puede restablecer en un período de tiempo relativamente largo, unos 2 a 5 minutos.

b) Las plantas automáticas, son aquellas cuyo funcionamiento se realiza sin intervención de un operario, ya que se inician a trabajar por medio de un interruptor de transferencia, el cual manda una señal a la marcha del motor, el que a su vez comienza a desarrollar su trabajo. Este tipo de plantas son utilizadas normalmente en aquellos lugares en donde el suministro de Energía debe de restablecerse lo más pronto posible.

VII.4 CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS PLANTAS ELECTRICAS AUTOMATICAS.-

Las plantas eléctricas son unidades de fuerza, compuestas de un motor de combustión interna de 4, 6 o 12 cilindros, tipo industrial estacionario, un generador eléctrico de corriente alterna con sus controles y accesorios totalmente ensamblados y probados en fábrica.

Dichos controles y accesorios están seleccionados para trabajar en conjunto, dando la máxima seguridad y alta eficiencia en su operación.

La planta entregada en el lugar de la instalación, normalmente requiere poco trabajo y es posible ponerla a funcionar de inmediato.

Entre los componentes que se entregan podemos citar los siguientes:

a) La planta misma (motor y generador síncrono, montada en base de acero estructural con sus sistemas de: enfriamiento, protección contra alta temperatura del agua, baja presión del aceite y sobrevelocidad, motor de arranque, controles de arranque y paro, vál

vulas de purga, bomba de inyección de combustible, filtros de aire, aceite y combustible.

b) Interruptor de transferencia automática montado en su respectivo gabinete.

c) Tablero de control conteniendo: circuito de control de arranque y paro automático de la planta, mantenedor de carga de baterías, fusibles de protección, relevador de tiempo de transferencia, relevador de tiempo de paro del motor, reloj programador y relevadores sensitivos de voltaje.

d) Instrumentos: un vóltmetro, ampérmetro, frecuencímetro y horómetro, conmutadores de fases para el ampérmetro y el vóltmetro, kilowatt-horímetro (cuando la capacidad de la planta es superior a 30 KW). Estos instrumentos se pueden localizar integrados en la puerta del tablero de control (Plantas Automáticas), o en gabinete independiente para montaje en pared o sobre el generador en la planta (Plantas de Arranque Manual).

e) Acumuladores con sus cables de conexión.

f) Silenciador de gases de escape tipo hospital, industrial, residencial y tramo de tubo flexible para conectarlo con el múltiple de escape del motor.

g) Un juego de pernos de anclaje y amortiguadores antivibratorios de hule rígido.

VII.5 GENERADOR SINCRONO.

a) Descripción General.-

Es una máquina que produce corriente alterna, diseñada para acoplarse directamente a un motor de combustión interna estacionario, que la impulsa.

Los generadores son de varios tamaños, dependiendo de la capacidad de la planta eléctrica.

Algunos generadores síncronos incluyen, además del generador, la unidad de excitación que suministra corriente continua a las bobinas del campo rotatorio, un regulador automático de voltaje que mantiene el voltaje de salida del generador dentro del rango permisible, independientemente de los cambios de la corriente de carga.

Los controles del generador, así como los instrumentos se encuentran instalados en un sólo gabinete independiente del interruptor.

tor de transferencia, el cual puede ser de tipo autosoportado o para montar en pared, de acuerdo a las especificaciones requeridas.

b) Construcción.-

Los generadores síncronos están diseñados y construidos cuidadosamente de manera que asegure una operación eficaz, facilidad de mantenimiento y una larga vida de servicio.

La carcaza, robusta a prueba de goteo, está fabricada de placa de acero, gruesa, reforzada internamente para darle mayor resistencia. La carcaza y la base forma una unidad integrada que simplifica la instalación de la máquina y su alineamiento con el motor impulsor. Los pernos de ojo instalados en la carcaza, permiten levantar fácilmente al conjunto empleado un montacargas convencional.

El núcleo del estator del generador está construido de laminaciones ranuradas, aisladas individualmente, hechas de acero al silicio y comprimidas a alta presión. El núcleo armado se sujeta en la carcaza por medio de guías soldadas a las costillas de refuerzo. Las bobinas del estator devanadas sobre el mismo, están acuñadas firmemente en las ranuras semicerradas del estator y el conjunto completo está impregnado con barniz sintético termofraguante, horneado posteriormente para asegurar la máxima resistencia a la humedad, una alta resistencia dieléctrica y excelentes cualidades de unión.

Las puntas del estator pasan a través de un bloque aislado de terminales y terminan en zapatas conectoras estándar, o terminales de carga hechas de cintas de cobre.

Los polos de campo del generador están montados sobre una flecha de gran diámetro, y la jaula del devanado entre los polos, se completa con conexiones soldadas en latón, lo que da excelentes características eléctricas.

El conjunto completo del rotor está balanceado estática y dinámicamente para asegurar la operación libre de vibraciones y la máxima vida de las chumaceras.

En los generadores síncronos de las plantas, se usan baleros para trabajo pesado, prelubricados con resguardo para soportar el rotor de la máquina. Dichos baleros no requieren lubricación posterior, solamente una revisión periódica. El doble resguardo con que cuentan los baleros, provee una máxima protección contra el polvo, el agua o algún otro contaminante que pueda afectar los baleros.

En los modelos mayores de 150 KW, o cuando el cliente lo especifica, se instalan baleros del tipo re-engrasable, los cuales cuentan con orificios de llenado y salida de excesos en las graseras, para una lubricación fácil de los mismos.

Los generadores síncronos están diseñados con un sistema de ventilación autocontenido que hace circular el aire de enfriamiento a través de la masa.

Un ventilador direccional montado en el extremo impulsor de

la flecha del rotor, toma el aire ambiente introduciéndolo en la máquina a través de aberturas de celosía en el extremo de la excitatriz de la máquina. El aire pasa axialmente entre los polos del campo a través del entrehierro, siendo impulsado radialmente hacia los cabezales de la bobina del estator. El aire caliente pasa a la atmósfera, por medio de aberturas de rejilla en el extremo de impulso de la carcasa.

VII.6 EXCITATRIZ ROTATORIA SIN CARBONES, COMBINADA CON UNIDAD RECTIFICADORA ROTATORIA.

La excitatriz rotatoria sin escobillas o carbones, con unidad rectificadora rotatoria, se usa para suministrar corriente de excitación al campo rotatorio de los generadores síncronos. Esta unidad de excitación es, en efecto, un refinamiento de la excitatriz convencional conectada directamente que usa carbones y conmutador. El diseño mejorado de la unidad sin carbones, simplifica el mantenimiento del equipo, eliminando las partes sujetas a desgaste normal, asegurando así períodos prolongados de operación eficaz y sin problemas.

La unidad de excitación completa, consiste de dos conjuntos de componentes básicos: Un generador de corriente alterna, del tipo de armadura rotatoria, trifásico, y un puente trifásico rectificador de onda completa, compuesto de seis diodos semiconductores, montados sobre dos bastidores de aluminio fijos a un mamelón de aislamiento moldeado.

La armadura de la excitatriz y el conjunto del puente rectificador se montan sobre la flecha del rotor en el generador síncrono y están interconectadas eléctricamente entre sí para los deva

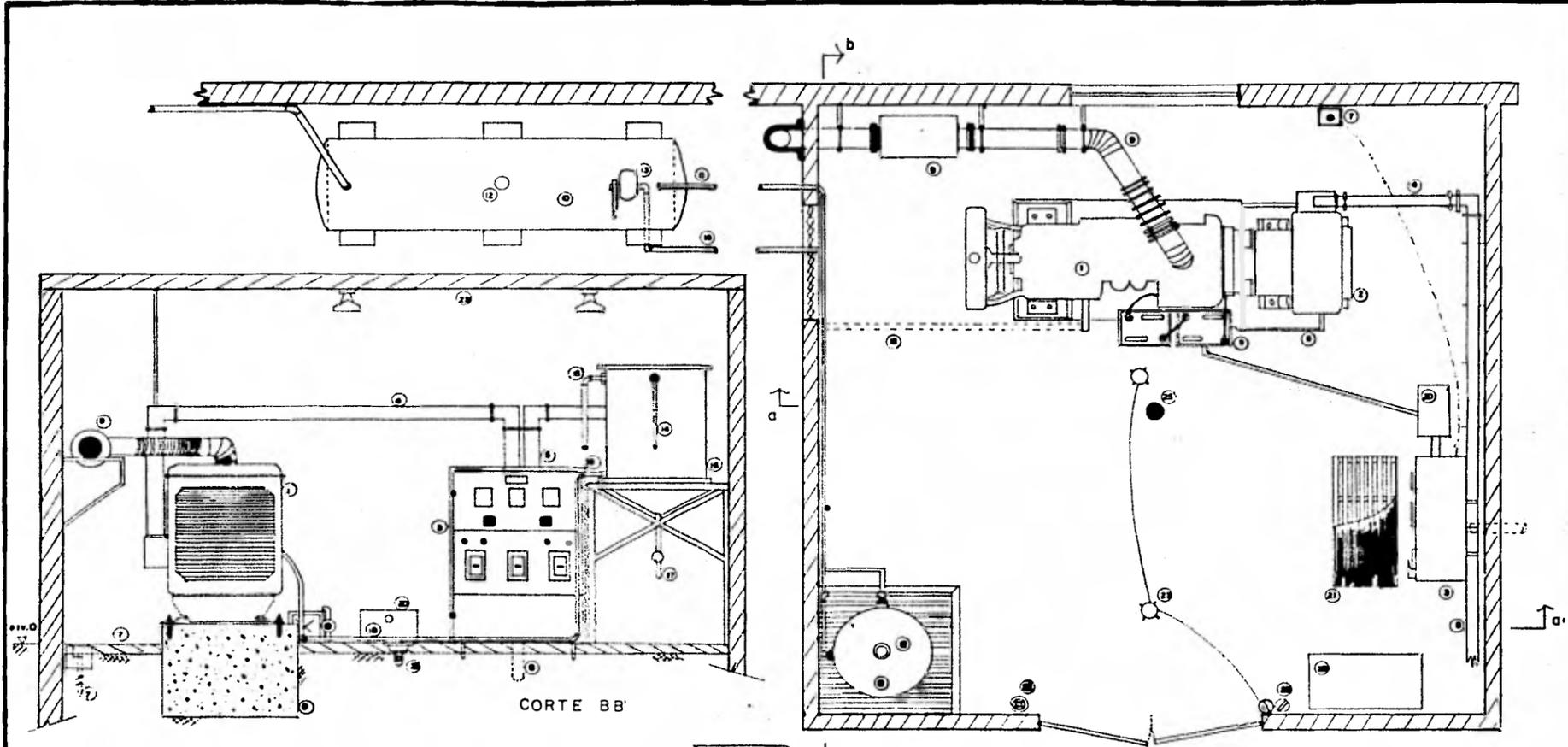
nados de campo del generador. El estator de una excitatriz sin carbones consiste de bobinas de campo devanadas sobre una carcasa que está adosada al generador sincrónico.

La unidad de excitación completa está protegida por una cubierta removible o está dentro de la caja de control de la máquina sincrónica.

Durante la operación del generador sincrónico, la potencia trifásica generada en la armadura rotatoria de la excitatriz, se aplica directamente al conjunto rotatorio del rectificador. Los tres diodos de polaridad positiva, montados en el bastidor del rectificador rotatorio y los tres diodos de polaridad negativa, montados en el otro bastidor, están conectados de tal forma que constituyen un puente rectificador de onda completa que rectifica la corriente alterna suministrada por la armadura de la excitatriz. La salida de corriente continua del puente rectificador, a su vez se aplica al campo rotatorio del generador sincrónico, por medio de conductores canalizados a través de un paso taladrado en la flecha del rotor. En esta forma los tres conjuntos: armadura de excitatriz, rectificador rotatorio y campo del generador sincrónico, forman una sola unidad rotatoria, permitiendo efectuar conexiones eléctricas sin usar carbones, anillos colectores o conmutadores.

La corriente de excitación para las bobinas estacionarias del campo de la unidad de excitación es suministrada por el generador sincrónico a través del regulador automático de voltaje de tipo estático, que se usa junto a la instalación. El regulador de voltaje compara continuamente el voltaje de salida del generador sincrónico con un voltaje estable de referencia.

La diferencia entre los dos voltajes constituyen una señal de error que indica un voltaje de salida superior o inferior al punto de ajuste del generador. Esta señal de error se amplifica y se usa para controlar la salida de corriente continua del regulador del voltaje, que se aplica a las bobinas de campo de la excitatriz.



EQUIPO Y MATERIALES

- Ver nota a y b 1. Unidad Diesel - Electrica sobre ... kW ... Volt ... Hz ...
- Ver nota c 2. Generador
- Ver nota d 3. Tablero general de control
- Ver nota e 4. Ducto e friccionera para disipacion de la unidad generadora al tablero
5. Ducto con distribucion de aire (Cajonete ventilador).
6. Ducto con abanico de aire del tablero a la carga
7. Soporte de hierro
8. Base superior (construida segun especificaciones de fabricacion de la unidad)
9. Motor de arranque de emergencia (construido segun especificaciones de fabricacion de la unidad)
10. Tanque generador para combustible
11. Tablero para control de la carga
12. Orificio para respiracion y escape de vapor de agua
13. Base inferior (construida segun especificaciones de fabricacion de la unidad)
14. Tablero para abanico de aire del tablero
15. Tablero de arranque (opcional)
16. Tanque de reserva para combustible
17. Tablero con grifo para drenaje y purga
18. Tablero para abanico de la unidad generadora
19. Amperimetro
20. Cargador de acumuladores
21. Termostato
22. Estragador
23. Armario y motor
24. Inyector sistema de inyeccion (estandar o forjado)
25. Drenaje
26. Estante para reserva de combustible (opcional)

NOTAS

- a - En todo detalle, material y equipos sobre el cuadro de control se detallaran completos en otro plano de la serie de A.D.E.-O.E. (para cada parte).
- b - Ajustar el peso al original y en caso de la unidad generadora del equipo original y en cualquier caso.
- c - Instrumentos de control y material
1. Amperimetro y amperimetro comparativo
2. Voltmetro y amperimetro rector
3. Contador de Kilowatt-hora
4. Presostato (opcional)
5. Lámpara indicador de aceite
6. Depósito de combustible (estandar o forjado)
7. Interruptor
- d - Motor de arranque y motor de la unidad de control de la unidad
- e - Peso de combustible suficiente al tipo de combustible, en los cuadros de control para evitar problemas y en el momento de arranque en frío (consultar manual de la unidad de control).

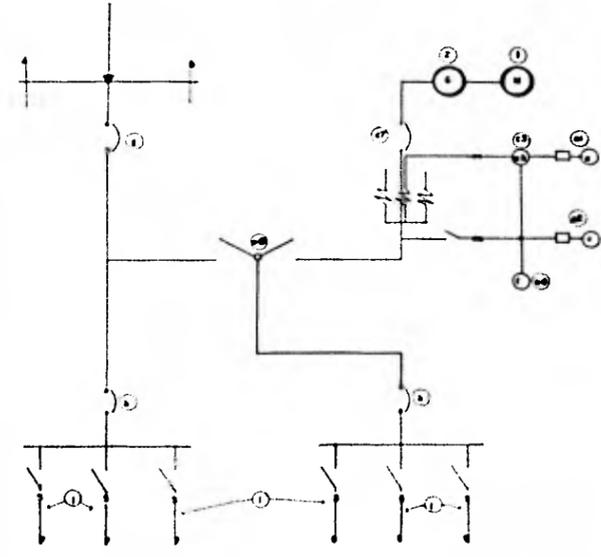
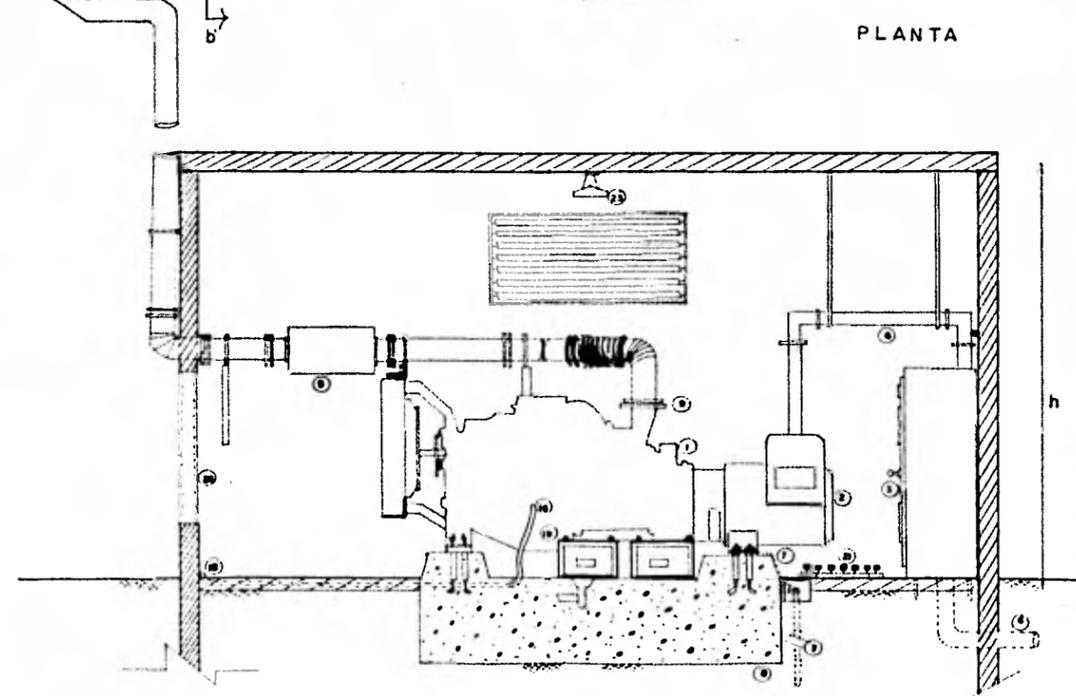


DIAGRAMA UNIFILAR



CORTE AA'

| | | |
|---|-----------|-----------------------|
| LUGAR PARA SELLOS | | |
| SEMINARIO DE TESIS. | | |
| PLANTA DIESEL ELECTRICA DE | | KW. |
| ESTUDIOS DE SISTEMAS DE POTENCIA PARA MEDIANA Y BAJA TENSION | | |
| ESCALA | APROBADO | DIRECTOR DE SEMINARIO |
| DIBUJO | PLANO No. | 1988 LUIS SUROWI. |
| C. R. M. | | |

C A P I T U L O V I I I

B I B L I O G R A F I A T E C N I C A

VIII.1 INGENIERIA ELECTRICA.

- * " Protección de Sistemas Eléctricos", R. MASON, Ed. CECSA, 1971.
- * "Industrial Power Systems Handbook", D. BEEMAN, Ed. Mc Graw Hill, 1965.
- * "Electrical" Systems for Power and Light" MC PARTLAND J., Ed. Mc Graw Hill, 1968.
- * "Electrical Engineers Handbook" PENDER DELMAN.
- * "Manual Estandar del Ingeniero Electricista" A.E. KNOWLTON.
- * "Curso Básico de Electricidad" WILLIAM H. TIMBIE, Ed. Montesó.
- * "Redes Eléctricas" Vol. I. y II, JACINTO VIQUEIRA LANDA, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S. A.

- * "Control de Motores Eléctricos", WALTER N. ALERICH, Ed. Diana.
- * "Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas", ENRIQUEZ HARPER, Ed. Limusa.
- * "Electrical Engineering Handbook", SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT, Ed. Heyden.
- * "Fundamentos de la Electrotecnia", WOLFGANG MULLER-SCHWARZ, Ed. Dossat.
- * "Seminario de Máquinas Eléctricas para Ingenieros" AMIME (Asociación Mexicana de Ingenieros Mecánicos Electricistas).

VIII.2 INSTALACIONES ELECTRICAS.

- * "Electrical Installations Handbook", Vol 1 y 2, GUNTER G. SEIP, Ed. Heyden.
- * "Instalaciones Eléctricas" Tomos I y II, ALBERT F. SPITTA, Ed. Dossat.
- * "Curso de Instalaciones para Edificios", Centro de Educación Continua, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- * "Mesa Redonda sobre Instalaciones Industriales" Siemens Mexicana 1971.
- * "Instalaciones Eléctricas Prácticas", DIEGO ONESIMO BECERRIL, 9a. Edic. 1975.
- * "Manual de Instalaciones Eléctricas Residenciales e Industriales", ENRIQUEZ HARPER, Ed. Limusa.
- * "Manual de Instalaciones Eléctricas Residenciales", CAMARENA SHARDER, 1974.
- * "Instalaciones Eléctricas Industriales", PEDRO CAMARENA R.
- * "Mantenimiento Eléctrico Industrial", PEDRO CAMARENA R.
- * "Transformadores Industriales, Reparación, Diseño y Construcción", PEDRO CAMARENA R.
- * "Manual del Montador Electricista", CROFT, CARR y WATT, Ed. Reverté, Barcelona, España.
- * "Apuntes de la Materia de Instalaciones Eléctricas e Iluminación", IGNACIO GONZALEZ CASTILLO, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- * "Manual de Instalaciones Eléctricas", RICHTER.

VIII.3 ILUMINACION.-

- * "Curso de Iluminación, I.E.S., (Illuminating Engineers Society).
- * "Lighting Handbook", I.E.S.
- * "Manual Westinhouse de Alumbrado".
- * "Manual de Alumbrado", OSRAM, España.
- * "Manual de Alumbrado", SOLAR, S. A.
- * "Revista Internacional de Luminotecnia", PHILIPS, S. A.
- * "Las Fuentes Luminosas de mayor aplicación y sus Equipos Auxiliares", JOSE CARLOS SIVA.

VIII.4 MANUALES TECNICOS PRACTICOS.-

- * "Manual de Fórmulas Técnicas", KURT GLIECK, Técnicos Argostal.
- * "Aclaraciones Técnicas sobre Aparatos de Maniobra de Baja Tensión, Instalaciones y Derivaciones" SIEMENS, A.G.
- * "Manual de Datos Prácticos", SELMEC (Sociedad Electromecánica) 1972.
- * "Manual Eléctrico", PHELPS DODGE PYCSA, 1971.
- * "Manual Eléctrico", CONELEC, 1979.
- * "Formulario de Electricidad Práctica".
- * "Prontuario de Electricidad" PEDRO CAMARENA R.
- * "Tablas Técnicas", SIEMENS, A. G.
- * "Manual de Datos Técnicos", CONDUCTORES MONTERREY.

VIII.5 REGLAMENTACION Y TARIFAS.

- * "ROIE (Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas), Ed. Andrade, (SIC-DGE).
- * "NEC (National Electrical Code)", 1978.
- * "Ley de la Industria Eléctrica".
- * "NORMAS CCONNIE (Comité Consultivo de Normalización y Normas para la Industria Eléctrica).
- * "Normas: ANSI, DIN, IEC, NEMA, UL, VDE".
- * "Tarifas Generales para la Venta de Energía Eléctrica" , CFE.

VIII.6 INFORMACION TECNICA Y CATALOGOS DE FABRICANTES DE EQUIPO ELECTRICO.

- * CANAME (Cámara Nacional de Manufacturas Eléctricas).
- * IEM WESTINHOUSE.
- * SQUARE'D.
- * CUTLER HAMMER.
- * FEDERAL PACIFIC.
- * GENERAL ELECTRIC.
- * CONDUMEX.
- * CONDUCTORES MONTERREY.
- * CONELEC.
- * LATINCASA.
- * CROUSE HINDS.
- * ILINSA.
- * HOLOPHANE.
- * PHILIPS.
- * SOLAR.
- * WESTINHOUSE.
- * SYLVANIA.
- * SIEMENS.
- * IEM.
- * ENERGOMEX.
- * ELMEX.
- * DRIESCHER Y WITTJOHAN
- * IESA.
- * IUSA.
- * PATRICIO SORDO.
- * ROYER.
- * ANPASA.
- * MATIMSA.
- * HUBARD Y BOURLON.
- * CADWELD.
- * BURNDY.
- * WIDELITE.
- * LUMEK.
- * BROWN BOVERI.
- * ADVANCE.
- * AMP.
- * HONEYWELL.
- * JUPITER.

