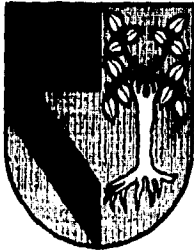


308917
9
20



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**EVALUACION, ANALISIS Y PROPUESTA DE
MEJORAMIENTO DE LAS INSTALACIONES
ELECTRICAS DEL CENTRO ESCOLAR CEDROS**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA. INGENIERIA MECANICA
P R E S E N T A :
JUAN CARLOS CASILLAS**

DIRECTOR: ING. ENRIQUE GOMEZ IBARRA

MEXICO, D.F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

DEDICATORIA

*A mis padres y hermanos,
al Centro Escolar Cedros.*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.	
CONCEPTOS FUNDAMENTALES PARA UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA	3
1. Carga eléctrica	4
2. Voltaje	5
3. Corriente	5
4. Resistencia	7
5. Energía	8
6. Potencia eléctrica	9
7. Capacitancia	10
8. Inductancia	11
9. Voltaje y corriente fasoriales	12
10. Impedancia	13
11. Corriente directa y alterna	14
12. Factor de potencia	17
13. Triángulo de potencia	18
14. Formas de conexión eléctrica	19
15. Circuitos trifásicos	20
CAPÍTULO II.	
ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA	23
1. Definición	23
2. Características generales	25

3. Dirección General de Normas	26
4. Características de operación	27
5. Acometida	20
6. Equipo de medición	29
7. Interruptores	29
8. Arrancadores	30
9. Transformadores en subestaciones	31
10. Tableros	31
11. Conductores eléctricos	32
12. Canalizaciones	36
13. Alumbrado y contactos	37
14. Motores eléctricos	30
15. Planta de emergencia	41
16. Conexiones a tierra	41
17. La Subestación	45

CAPÍTULO III.

CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA GENERAL 54

1. Generalidades	54
2. Coeficiente de utilización y factor de simultaneidad	55
3. Identificación de cargas reales. Planos utilizados	56
4. Balanceo de cargas y propuestas	59
5. Cálculo y evaluación de los conductores utilizados. Protecciones.	64
6. Sistemas de tierra	72
7. Factor de potencia	74

CAPÍTULO IV.

OPTIMIZACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA 76

I. Análisis de costos actuales	76
II. Alumbrado. Eficiencia	77
1. Ahorro de energía en iluminación	77
2. Ahorro por tipo de lámparas	70
3. Ahorro por tipo de luminario	70

4. Balastros más eficientes	79
5. Propuesta de ahorro por iluminación	00
III. Propuesta de una subestación o división de cargas	04
1. Instalación de una subestación eléctrica	04
2. División de la carga total en dos sistemas	07
IV. Proyección a futuro	08
CONCLUSIONES	91
APÉNDICE	94
BIBLIOGRAFÍA	95

INTRODUCCIÓN

Ahorro de energía eléctrica: es parte de la cuestión...; eficiencia de los sistemas actuales: otra parte de la cuestión...; proyectos futuros...; evaluación del funcionamiento...; economía...; seguridad...; en fin, no son pequeños los campos en los hay posibilidad de mejorar cuando se vuelve la vista a hacer la evaluación de la instalación eléctrica de una institución que lleva casi tres décadas de funcionamiento continuo.

El presente trabajo de tesis parte de un problema real: una institución educativa fundada a finales de los sesenta se encuentra con que, para lograr una mejor formación de sus alumnos y una competitividad mayor, necesita incorporar sistemas de cómputo modernos. Se comienza a hacer un proyecto completo de dichos sistemas y, como es lógico, dicho proyecto abarca todos los aspectos: desde el costo global de las nuevas máquinas hasta los proyectos educativos que se pretenden impartir; y desde los locales y profesores adecuados hasta la red eléctrica y de tierras que se necesita en todo laboratorio de computación.

De ahí surge esta tesis: al hacer una evaluación de la instalación eléctrica con la que se cuenta y de las necesidades inmediatas de redes de tierras y reguladores de voltaje, se percatan de que no se tiene un conocimiento real de las cargas instaladas en toda la institución; de que no se ha hecho la actualización de los planos de la instalación eléctrica desde hace muchos años y puede haber un desbalance de fases muy importante; y, en fin, de que el crecimiento de la demanda de energía eléctrica se acerca al límite máximo permitido por la

compañía suministradora; de que quizá es necesario ya instalar una subestación, sembrar las bases para un crecimiento futuro. Se presenta un proyecto de mejora de la instalación eléctrica y éste debe ser evaluado, y esa evaluación es la que se presenta con este trabajo.

Este trabajo cuenta con cuatro capítulos que comprenden, a modo general, los siguientes temas:

En el capítulo primero se presenta una exposición de los principales conceptos físicos y eléctricos que deben ser manejados para el análisis de toda instalación eléctrica. Son a veces conceptos elementales pero que no se entienden de modo claro o se corre el peligro de interpretar de un modo poco técnico y preciso.

En el capítulo segundo se presenta una descripción de los principales elementos que conforman toda instalación eléctrica, tanto residencial como industrial. Dichos conceptos se manejarán con soltura en los siguientes capítulos, por lo que hace falta detenerse un poco en ellos para unificar significados.

En el capítulo tercero se presenta ya propiamente el análisis de la instalación eléctrica en cuestión. Para entender dicho capítulo hace falta recurrir a los planos del apéndice, que son el proyecto de mejora de la instalación que es evaluado por este trabajo. Junto con la evaluación de dicho proyecto, se destacan una serie de problemas de la instalación actual y se proponen posibles remedios para dichos problemas. Los remedios propuestos son de distintas magnitudes, como se explicará a su momento.

En el capítulo cuarto se presenta una propuesta de optimización de la instalación y una visión a futuro del crecimiento de la institución. No se puede hacer la evaluación de una instalación pensando que permanecerá sin cambios futuros; una instalación eléctrica es tan variable como las necesidades de carga que van surgiendo en la vida cotidiana, y muchas veces crece con el ritmo de las innovaciones eléctricas y electrónicas. Dentro de esta optimización ocupa un lugar muy importante el ahorro de energía.

Al final del trabajo se presentan a modo de conclusión, algunas ideas que resumen los datos obtenidos de esta tesis.

Capítulo I

CONCEPTOS FUNDAMENTALES PARA UNA INSTALACION ELÉCTRICA

La utilización de la electricidad comenzó a ser parte fundamental de nuestra vida hace apenas un siglo. Con los desarrollos experimentales de la lámpara incandescente con filamento de carbono en 1879, Thomas Alva Edison daba la señal de partida de una época que ya no se separará del uso de la electricidad como fuente de energía.

Fueron tantas las aplicaciones de la electricidad que se vislumbraban en ese momento, que comenzaron a desarrollarse rápidamente los elementos necesarios para la utilización y transformación de esa energía: generadores de energía, conductores de electricidad, transformadores, motores eléctricos, alumbrado, magnetismo, etc., a la par que se estructuraba la teoría eléctrica ya existente en ramas como la electricidad en general, el magnetismo, el análisis de circuitos y la aplicación de variable compleja y el uso de transformadas para dicho análisis, los circuitos de potencia, diseño de generadores, motores, y un largo etcétera.

Para comprender con más profundidad los elementos que intervienen en el funcionamiento de una instalación eléctrica y las posibilidades de diseño de dichos elementos, se deben dar algunas definiciones fundamentales:

1. CARGA ELÉCTRICA.

Se sabe que toda la materia está compuesta por unidades fundamentales llamadas átomos, y que esos átomos a su vez están formados por diferentes partículas elementales, entre otras el protón, neutrón y electrón.

La unidad fundamental de carga recibe el nombre de *coulomb* en honor de Charles Coulomb, quien por primera vez hizo mediciones cuidadosas de la fuerza entre dos cargas.

Se puede definir el coulomb como sigue:

"Dos partículas pequeñas, idénticamente cargadas, cuya separación es de un metro en el espacio vacío y que se repelen una a la otra con una fuerza de $10^{-7} \text{ c}^2 \text{ N}$ tienen cargas idénticas de más o menos un coulomb (C). El símbolo *c* representa la velocidad de la luz, $2.997\,925 \times 10^8 \text{ m/s}$. En términos de esta unidad, la carga del electrón es de:

$$-1.602\,19 \times 10^{-19} \text{ C}$$

y, por lo tanto, un coulomb negativo representa la carga conjunta de alrededor de 6.24×10^{18} electrones."¹

¹ William Hayt y Jack Kemmerly, ANALISIS DE CIRCUITOS EN INGENIERIA, 4a.edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 1988, Página 9.

2. VOLTAJE.

El trabajo o la energía necesaria para transportar una carga eléctrica desde un punto hasta otro recibe el nombre de diferencia de potencial eléctrico o voltaje. También *el voltaje puede ser definido como la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos cualesquiera de un circuito eléctrico.*

La unidad del potencial eléctrico V es el volt (V) y es igual a

$$1 \text{ J/C}$$

O sea:

$$\frac{\text{Fuerza x longitud}}{\text{Carga}} = \frac{\text{trabajo}}{\text{Carga}} = \frac{\text{Newtons x metros}}{\text{Coulomb}} = \frac{\text{joules}}{\text{coulomb}} = \text{volt}$$

s

3. CORRIENTE.

Cuando las cargas eléctricas se desplazan, se puede decir que existe una corriente eléctrica. También se puede definir la corriente eléctrica como la rapidez con la que fluyen las cargas a través de una superficie determinada en un intervalo de tiempo. La corriente I se puede formular como:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Si la rapidez con la que la carga fluye varía con el tiempo, se debe decir que la corriente también varía con el tiempo y se obtendría el siguiente límite:

$$I = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

El valor exacto de la rapidez con que la carga fluye está dado por la derivada:

$$\frac{dQ}{dt}$$

Por lo tanto, *se define la corriente en un punto específico y que fluye en una dirección específica como la rapidez instantánea a la cual la carga neta positiva se mueve a través de ese punto en la dirección específica. La corriente se representa por I o i .*

La unidad del SI (sistema internacional de medidas) de corriente es el ampere (A), en donde

$$1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{\text{s}}$$

4. RESISTENCIA.

A la dificultad que un material presenta al paso de la corriente eléctrica se le llama Resistencia.

"Considere un conductor con sección transversal A y que lleva una corriente I . La densidad de corriente J en el conductor se define como la corriente por unidad de área. J tiene las unidades en el SI de A/m^2 .

En un conductor se mantienen una densidad de corriente J y un campo eléctrico E cuando existe una diferencia de potencial a través de dicho conductor. Si la diferencia de potencial en el conductor es constante, la corriente también será constante. Mientras que si la diferencia de potencial en el conductor es variable, la corriente que fluya por él también presentará variaciones.

Con mucha frecuencia la densidad de corriente en un conductor es proporcional al campo eléctrico en él; esto es:

$$J = s E$$

en donde la constante de proporcionalidad s se llama conductividad del conductor.

Los materiales cuyo comportamiento se ajusta a la ecuación anterior, se dice que siguen la ley de Ohm, en honor de George Simon Ohm (1747-1854). Más concretamente, la ley de Ohm afirma que, para muchos materiales (incluyendo la mayoría de los metales), la razón de la densidad de corriente y el campo eléctrico es una constante, s , la cual es independiente del campo eléctrico que produce tal corriente. Se dice que los materiales que obedecen a la ley de Ohm y, por consiguiente muestran este comportamiento no lineal, son óhmicos. En forma experimental se encuentra que no todos los materiales tienen esta propiedad; por el contrario, se dice que los materiales que no obedecen la ley de Ohm son

no_ómicos. La ley de Ohm no es una ley fundamental de la naturaleza sino una relación empírica válida únicamente para ciertos materiales."²

Haciendo un desarrollo de la fórmula anterior, se puede llegar al enunciado más común de la ley de Ohm:

$$R = \frac{V}{I}$$

"Los materiales óhmicos, como el cobre, tienen una relación lineal corriente-voltaje dentro de límites muy amplios de voltaje aplicado. La pendiente de la curva I contra V, en la región lineal suministra un valor de R. Los materiales no óhmicos tienen un relación no lineal corriente-voltaje. Un dispositivo semiconductor común que tiene características no lineales I contra V es el diodo. La resistencia efectiva de este dispositivo (inversamente proporcional a la pendiente de su curva I contra V) es pequeña para las corrientes que se mueven en una dirección (V positivo) y grande para las corrientes en la dirección contraria (V negativo)."³

Las unidades de resistencia son los ohms (Ω).

5. ENERGÍA.

"La energía puede tomar varias formas y en éstas se incluyen las energías mecánica, electromagnética, química, térmica (o calorífica) y nuclear. No obstante, las diversas formas de la energía están relacionadas entre sí por el hecho de que cuando la energía se convierte de una forma a otra, siempre se conserva; esto es lo que hace tan útil a este concepto. Es decir, si un sistema aislado pierde energía en

² Serway Raymond, FISICA, 1a. edición en español, Nueva Editorial Interamericana, México, D.F. 1987, Página 522.

³ idem, página 524.

alguna forma, entonces la ley de la conservación de la energía afirma que el sistema ganará una cantidad igual de energía en otras formas."⁴

Se puede decir que la energía es la capacidad para desarrollar un trabajo y sus unidades en el SI son los joules.

La energía puede estar almacenada en un cuerpo y se libera cuando dicho cuerpo desarrolla un trabajo.

6. POTENCIA ELÉCTRICA.

Según una definición clásica, la potencia es la rapidez con la que se realiza un trabajo.

El valor de la potencia utilizada por un aparato eléctrico sería la razón o rapidez con que el aparato consume energía eléctrica al realizar un trabajo.

Para expresar el concepto anterior en los conceptos hasta ahora explicados se puede decir que: "La diferencia de potencial o voltaje V a través de un conductor de longitud d es igual al trabajo por carga unitaria (corriente \times tiempo), requerido para mover una carga en el conductor de longitud d . Multiplicando por la corriente I da el trabajo por unidad de tiempo, o sea la potencia. Entonces,

$$\frac{\text{Trabajo}}{\text{Corriente} \times \text{tiempo}} \times \text{corriente} = \frac{\text{Trabajo}}{\text{tiempo}} = \text{Potencia}$$

o bien

⁴Serway Raymond A., FÍSICA, Nueva Editorial Interamericana, México, D.F., 1987, Página 121.

$$V \times I = P$$

La unidad del SI para la potencia es el watt (W). En consecuencia,

$$\text{Volts} \times \text{amperes} = \text{watts (W)}^5$$

También la potencia se puede expresar como:

$$P = R \times I^2$$

y por último, otra fórmula usual para la potencia :

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Y ya que una unidad de potencia muy utilizada para la medición de fuerza electromotriz (fem) es el caballo de potencia, se presenta su equivalencia:

$$1 \text{ H.P.} = 746 \text{ watts}$$

7. CAPACITANCIA.

"Un capacitor es un dispositivo eléctrico que consiste en dos conductores separados por un medio aislante o dieléctrico"⁶.

Por definición, la capacitancia es directamente proporcional a la carga de uno de sus conductores e inversamente proporcional al voltaje entre ellos.

⁵ Kraus, John, ELECTROMAGNETISMO, Tercera Edición, Editorial Mc Graw Hill, México, D.F., 1984, Página 123.

⁶idem. Página 73.

$$C = \frac{Q}{V}$$

La unidad en el SI de la capacitancia es el Farad:

$$\text{Farad} = \frac{\text{Coulombs}}{\text{volts}}$$

8. INDUCTANCIA.

"Un inductor* es un dispositivo para almacenamiento de energía en un campo magnético. Se puede considerar como la similar magnética de un capacitor, que almacena energía en un campo eléctrico. Como ejemplos, las espiras, las bobinas y los solenoides son inductores."⁷

"Por definición, la *inductancia* L es la razón del acoplamiento total de flujo magnético a la corriente I a través del inductor, o sea

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

* Algunas veces a los inductores se les llama inductancias. sin embargo, es práctica usual referirse a una bobina o un solenoide como un inductor. Esto uniforma el lenguaje que se usa, por ejemplo para un inductor de 1 H de inductancia, un capacitor de 1 F de capacitancia, o un resistor de 1 Ω de resistencia.

⁷idem. Página 176.

La inductancia tiene las unidades de flujo magnético (por espira) dividido entre corriente. La unidad de inductancia es el henry (H).⁸

$$\text{Henry} = \frac{\text{webers}}{\text{amperes}}$$

Otro modo de definir la inductancia es como la constante con la que el voltaje es proporcional al cambio de la corriente -que es producida por un campo magnético- con respecto al tiempo.

$$v = L \frac{di}{dt}$$

9. VOLTAJE Y CORRIENTE FASORIALES.

Ya que las ondas de voltaje que produce una planta generadora en una red eléctrica son muy cercanas a una *senoide* y que la función de excitación senoidal tiene un uso generalizado en la industria eléctrica es necesario explicar de manera sucinta el *concepto de fasor*.

El fasor - llamado también "la transformación fasorial"- es un número complejo que al especificar la amplitud y el ángulo de una senoide, la determina de forma tan completa como si fuera descrita por una función analítica en el tiempo.⁹

⁸idem. Página 177.

⁹ William Hayt y Jack Kemmerly, ANALISIS DE CIRCUITOS EN INGENIERIA, 4a.edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 1988, Página 254.

Al trabajar con fasores se obtiene una simplificación notable en el análisis del estado senoidal permanente de un circuito *RLC* en general.

Una corriente o un voltaje senoidal a una frecuencia dada se caracterizan únicamente por dos parámetros, una amplitud y un ángulo de fase. La representación compleja del voltaje o la corriente también se caracteriza por estos dos mismos parámetros, como se muestra a continuación,

$$I_m \cos(\omega t + \phi)$$

como generalmente las cantidades complejas se representan en forma polar, queda de la siguiente manera:

$$I = I_m \angle \phi$$

Esta representación compleja abreviada es la representación fasorial; los fasores son cantidades complejas por lo que se representan con negritas.

El fasor no es una función instantánea del tiempo; sólo contiene información de amplitud y fase. Esta diferencia se establece al referirse a $i(t)$ como la representación de la corriente en el *dominio del tiempo*, y llamando al fasor I la representación de la corriente en el *dominio de la frecuencia*.

10. IMPEDANCIA.

En un circuito eléctrico es prácticamente imposible encontrar solamente resistencias o sólo inductancias o capacitancias sin que se combinen entre sí. El concepto de impedancia relaciona a esos tres conceptos permitiendo el análisis de los voltajes y corrientes en un circuito con parámetros de resistencia, capacitancia e inductancia combinados.

Las relaciones corriente-voltaje para los tres elementos pasivos en el dominio de la frecuencia son

$$V = RI \quad V = j\omega L I \quad V = I / j\omega C$$

se ve que estas razones son simples funciones de los valores de los elementos, y también de la frecuencia en el caso donde intervienen inductancia y capacitancia. Estas razones son cantidades complejas, por lo que todas las operaciones que se realicen con ellas deben llevarse a cabo de acuerdo al álgebra de números complejos.

La *impedancia* se puede definir como la división del voltaje fasorial entre la corriente fasorial, y su símbolo es la letra *Z*. La impedancia es una cantidad compleja cuyas unidades son los ohms.

La impedancia no es un fasor y no puede transformarse al dominio del tiempo. La impedancia es parte del dominio de la frecuencia y no un concepto que forme parte del dominio del tiempo.

El número complejo que representa la impedancia puede expresarse ya sea en forma polar o en forma rectangular. Se dice que la misma impedancia en forma rectangular tiene una *componente resistiva* o resistencia, que es la parte real de la impedancia, y una *componente reactiva* o reactancia, que es la parte imaginaria de la reactancia, incluyendo el signo, pero excluyendo el operador imaginario. La componente resistiva de la impedancia no necesariamente es igual a la suma de las cargas puramente resistivas del circuito.

11. CORRIENTE DIRECTA Y ALTERNA.

Los voltajes eléctricos que suministran una presión eléctrica en la misma dirección y de manera continua se llaman fuentes de voltaje puro y la corriente por

ellos producida se llama *corriente continua*, unidireccional y sin variaciones (se abrevia cc o cd).

Cuando la corriente fluye primero en una dirección y luego se invierte, se dice que se trata de una *corriente alterna* (se abrevia ca).

La gran mayoría de las instalaciones eléctricas residenciales o industriales, usan éste tipo de corriente, que es producida en las centrales generadoras de energía eléctrica y transformada en las subestaciones eléctricas para ser transmitida y distribuida por las llamadas líneas de transmisión y las redes de distribución.

Desde el punto de vista del estudio de los circuitos eléctricos los valores más significativos son los valores "efectivos" o eficaces de la corriente y el voltaje. Estos valores hacen referencia a la efectividad de una fuente de voltaje para entregar potencia a una carga resistiva.

Debido a que la corriente alterna está constantemente variando con valores instantáneos y regularmente alternos en dirección, la única forma de calcular la corriente es determinando su valor eficaz. El *valor eficaz de cualquier corriente periódica* es igual al valor de la corriente directa que, fluyendo a través de un resistor de R ohms, entrega a la resistor la misma potencia que la potencia que le entrega al resistor la corriente periódica.¹⁰

Igualando las fórmulas de potencia entregada por la corriente directa y la de potencia entregada por la corriente periódica se llega a la siguiente igualdad:

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\left(1/T \int_0^T i^2 dt\right)}$$

¹⁰William Hayt y Jack Kemmerly, ANALISIS DE CIRCUITOS EN INGENIERIA, 4a.edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 1988, Página 309.

En términos breves, la operación adecuada para calcular el valor eficaz es la raíz (cuadrada) de la media del cuadrado; por este motivo, el valor eficaz recibe con frecuencia el nombre de raíz media cuadrática, o simplemente valor *rms*.

En corriente alterna cada ciclo de una alternación tiene lugar en un período determinado de tiempo, dependiendo de la frecuencia con que se producen las alternaciones; en México esta frecuencia es de 60 Hz.

Cuando un voltaje de corriente alterna se aplica a un circuito que contiene únicamente resistencia, la onda de corriente pasa por su valor máximo y mínimo al mismo tiempo que el voltaje. En estas condiciones se dice que la corriente está en "fase" con el voltaje.

En los circuitos que contienen elementos capacitivos e inductivos, las corrientes y los voltajes no coinciden en sus valores máximos y mínimos al mismo tiempo por lo que se dice que están "fuera de fase".

Hay dos posibles condiciones para la relación "fuera de fase" entre voltaje y corriente.

1. Cuando la onda de corriente pasa por su valor cero y se incrementa a su valor máximo *después* de un cierto tiempo que la onda de voltaje ha pasado por su cero e incrementado a su máximo. En estas condiciones se dice que la corriente está atrasada con respecto al voltaje.

2. Cuando la onda de corriente pasa por su valor cero y se incrementa a su valor máximo un cierto tiempo *antes* que la onda de voltaje pase por su cero e incremente su valor hasta el máximo. En este caso se dice que la corriente está adelantada con respecto al voltaje.

Dependiendo de las condiciones particulares de un circuito, la corriente se puede adelantar o atrasar con respecto al voltaje por un valor hasta 1/4 de ciclo o 90°, a esta diferencia en tiempo o "diferencia en fase" se le conoce comúnmente con el nombre de "Ángulo de fase" y se designa con la letra griega Teta (θ).

El ángulo de fase depende de las características de la carga, *es atrasado cuando es predominantemente inductiva*, o sea cuando existen muchas bobinas en el circuito, o elementos que tengan inductores como los motores eléctricos u algún otro elemento electromagnético. Los circuitos eléctricos que tienen inductancias se dice que son inductivos y tienen la propiedad de la inductancia.¹¹

El ángulo de fase *es adelantado cuando la carga es predominantemente capacitiva*.

12. FACTOR DE POTENCIA.

En un circuito en serie que contiene resistencia, inductancia e inclusive capacitancia, la oposición al paso de la corriente está dada por la impedancia

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

donde X es la reactancia del circuito (que puede estar formada por la suma de la impedancia capacitiva y de la impedancia inductiva del circuito). La corriente que circula por el circuito se puede calcular con una aplicación de la ley de Ohm:

$$I = \frac{V}{Z}$$

y la "potencia aparente" en el circuito es

$$P = V_{eff} * I_{eff}$$

¹¹cfr. Enríquez Harper Gilberto, El ABC DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES, Ed. Limusa, México, 1985. Páginas 35-40.

pero la única parte que consume potencia es la resistencia y su valor está dado por la fórmula

$$P = R * I^2$$

que se conoce como la "potencia promedio real" consumida por el circuito.

Si se trata de un circuito formado por resistencia e inductancia, la onda de corriente se encuentra fuera de fase con respecto al voltaje atrasándose un ángulo θ entre 0° y 90° . En tal circuito la potencia promedio no es simplemente $P = V * I$, sino que se calcula con la fórmula:

$$P = V_{eff} * I_{eff} \cos \theta$$

Siendo θ el ángulo que la onda de corriente se atrasa con respecto al voltaje, el coseno de este ángulo se conoce como el Factor de potencia del circuito, y es una medida de la cantidad de potencia que es consumida por la resistencia del circuito, tomando en consideración el efecto de la inductancia del circuito. En otras palabras, el factor de potencia determina qué porción de la potencia aparente $V_{eff} * I_{eff}$ es la potencia real. El valor del factor de potencia varían entre 0 y 1, es 1 cuando la carga es puramente resistiva y 0 cuando la carga es puramente inductiva.¹²

13. TRIÁNGULO DE POTENCIA.

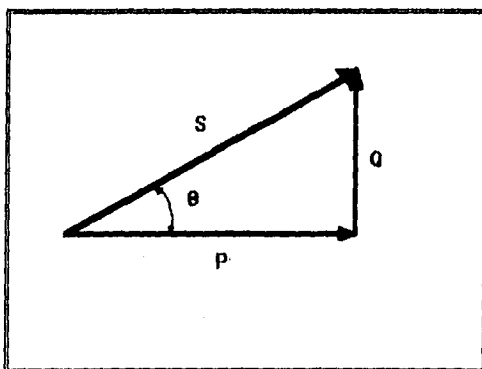
Ya que se expresó la potencia como una cantidad compuesta por una parte real y otra imaginaria, se le puede llamar también con el nombre de potencia compleja. La magnitud de la potencia compleja es la potencia aparente; la parte real de la potencia compleja es igual a la potencia promedio (o real, y se representa

¹²Idem, pág. 50.

con la letra P) mientras que la parte imaginaria de la potencia compleja se le conoce como *potencia reactiva* (que se representa con la letra Q).

El ángulo de S es el origen el ya mencionado factor de potencia.

Para dejar esquemáticamente claro cuáles son las componentes de la potencia compleja, se utiliza el diagrama conocido como *triángulo de potencia*, que se muestra a continuación.



14. FORMAS DE CONEXIÓN ELÉCTRICA.

Existen distintas formas de conexión eléctrica, según la disposición de cada carga con respecto al voltaje de la fuente y con respecto a las demás cargas del circuito eléctrico. Estas diversas disposiciones ocasionan que la corriente que circula por ellas pueda variar de un tipo de conexión a otro, aunque las cargas permanezcan constantes.

Se dice que un circuito está conectado en serie , cuando por todos los dispositivos de carga circula la misma corriente, siendo la resistencia total del circuito la suma de las resistencias de todos los elementos de carga y la resistencia propia de los conductores que forman el circuito.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_N$$

Se dice que un circuito está conectado en paralelo, cuando todos los elementos o cargas del circuito tienen la misma tensión en sus terminales. Por lo tanto, la corriente total que circula por el circuito y que debe ser sustentada por la fuente eléctrica de alimentación es la suma de todas las corrientes individuales que demandan los elementos del circuito. Se puede calcular la corriente de cada elemento con la fórmula de la ley de ohm. La resistencia equivalente del circuito se calcula con la fórmula:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

15. CIRCUITOS TRIFÁSICOS.

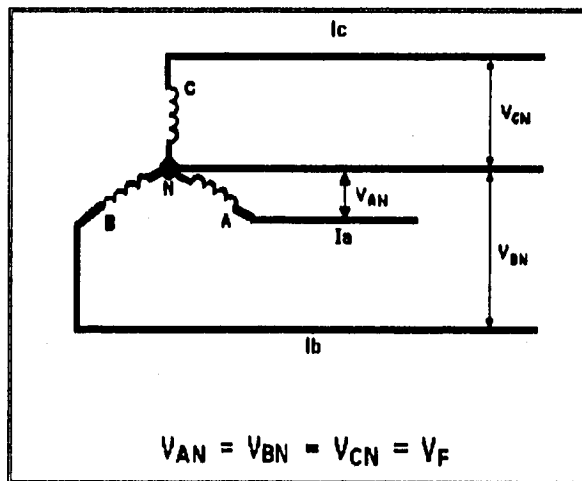
A pesar de que los circuitos de corriente alterna monofásicos son ampliamente utilizados, sobre todo en instalaciones eléctricas residenciales de poca carga, la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica se realiza en circuitos de corriente alterna trifásicos, por las ventajas que éstos presentan.

Los circuitos trifásicos requieren menos peso en los conductores que los circuitos monofásicos para suministrar un mismo valor de potencia. Los motores eléctricos trifásicos son por lo general de menor tamaño y menos pesados así como más eficientes que los monofásicos de igual potencia.

Existen dos conexiones básicas en los circuitos trifásicos, una es llamada la "conexión estrella", y la otra "conexión delta".

En las conexiones trifásicas, ya sea estrella o delta, es importante establecer las relaciones entre los voltajes y corrientes en la salida de cada conexión con respecto a las mismas cantidades, pero en el interior.

En el caso de la llamada conexión estrella se tiene una representación esquemática como a continuación se muestra:



N representa el neutro de la conexión y los voltajes V_{AB} , V_{BC} , V_{AC} , se conocen como los voltajes de línea, y si se considera el sistema balanceado sus valores son iguales en magnitud y están desplazados 120° eléctricos entre sí. $V_{AC} = V_{BC} = V_{AB} = V_L$ en magnitud. El neutro constituye el punto de referencia y se usa en los sistemas trifásicos a 4 hilos o con cuatro conductores, los voltajes referidos a ese neutro se conocen como voltajes de fase:

$$V_{AN} = V_{BN} = V_{cN} = V_F$$

La relación entre los voltajes de fase y los de línea para esta conexión es la siguiente:

$$V_L = V_F * \sqrt{3}$$

Las corrientes son las corrientes de línea, pero son las mismas que circulan por cada fase, por lo que si el sistema está balanceado se dice que:

$$I_A = I_B = I_C = I_L \text{ (en magnitud)}$$

y también

$$I_F = I_L$$

Para la conexión estrella, la potencia aparente por fase es:

$$P = V_F * I_F$$

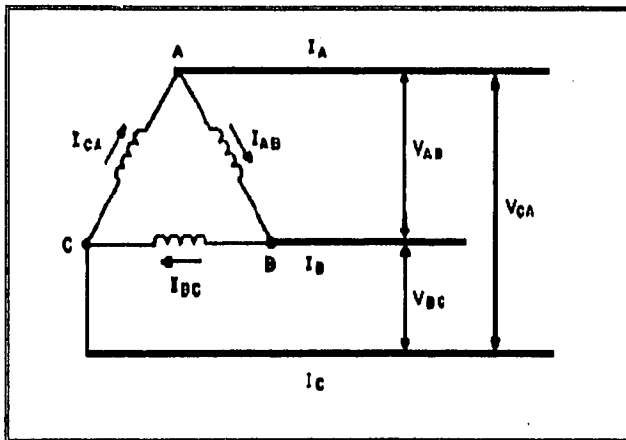
La potencia aparente total para las tres fases es:

$$P = 3 * V_F * I_F$$

y también

$$P = \sqrt{3} * V_L * I_L$$

La conexión delta es una conexión cerrada debido a que se conecta el final de una fase con el principio de otra y se representa así:



$V_{AC} = V_{BC} = V_{AB}$ se conocen como los voltajes de línea y si son iguales en magnitud y están desfasados 120° eléctricos entre sí, se dice que el sistema está balanceado. También $V_{AC} = V_{BC} = V_{AB} = V_L$.

V_L es el Voltaje de línea y su valor es igual al voltaje de fase.

$$V_L = V_F$$

Por otra parte para las corrientes de línea $I_A = I_B = I_C$ si el sistema está balanceado y se dice que están desfasados 120° eléctricos entre sí.

$$I_A = I_B = I_C = I_l$$

Para las corriente de fase, si el sistema es balanceado se tiene también:

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_F$$

La relación entre las corrientes de fase y las de línea está dada por:

$$I_L = \sqrt{3} * I_F$$

La potencia aparente total para las tres fases es:

$$P = 3 * V_F * I_F$$

y también

$$P = \sqrt{3} * V_L * I_L$$

Capítulo II

ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UNA INSTALACION ELÉCTRICA

1. Definición

"Una instalación eléctrica es el conjunto de elementos necesarios para interconectar una o varias fuentes de energía eléctrica con uno o varios elementos de consumo. Entre los elementos de una instalación eléctrica se encuentran los conductores de electricidad, los elementos de unión, las canalizaciones y los accesorios de control y protección."¹³

2. Características generales.

Una instalación eléctrica debe distribuir la energía eléctrica a los equipos conectados de una manera segura y eficiente. Además debe ser económica, flexible y de fácil acceso.

Una *instalación segura* es aquélla que no representa riesgos para los usuarios ni para los equipos que alimenta o que están cerca.

¹³cfr. Ing. Sergio Martínez, Apuntes para la materia de Instalaciones Eléctricas.

Existen muchos elementos que pueden utilizarse para proteger a las personas que trabajan cerca de una instalación eléctrica, entre otros:

- la conexión a tierra de todas las partes metálicas que están accesibles.
- la inclusión de mecanismos que impidan que la puerta de un tablero pueda abrirse mientras éste se encuentre energizado.
- la colocación de tarimas de madera y hule en los lugares donde se operen interruptores.
- elementos que impidan el paso (letreros, candados, alambradas, etc.)

Una *instalación* debe ser *eficiente*, es decir, debe diseñarse cuidadosamente para evitar consumos innecesarios, ya sea por pérdidas en los elementos que la constituyen o por la imposibilidad para desconectar equipos o secciones de alumbrado mientras éstos no se estén utilizando.

Se entiende por *instalación flexible* aquella que puede adaptarse a pequeños cambios. Por ejemplo, una instalación aparente en tubos metálicos es mucho más flexible que una instalación ahogada en techo o pared.

Por último, una instalación bien diseñada debe tener las previsiones necesarias para permitir el acceso a todas aquellas partes que pueden requerir mantenimiento. También se entiende por *accesibilidad* el que se cuente con todos los elementos que permitan entender el diseño de la instalación, es decir, la especificación completa y todos los planos y diagramas necesarios.

El diseño de instalaciones eléctricas debe hacerse dentro de un marco legal. Un buen proyecto de ingeniería es una respuesta técnica y económicamente adecuada, que respeta los requerimientos de las normas y códigos aplicables.¹⁴

3. Dirección General de Normas.

En México la Dirección General de Normas promulga la *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMP-1994 relativa a las instalaciones destinadas al suministro y uso de la energía eléctrica*. Estas normas constituyen el marco legal

¹⁴cfr. Bratu, Neagu y Campero, Eduardo; INSTALACIONES ELÉCTRICAS, CONCEPTOS BÁSICOS Y DISEÑO; Editorial Alfa Omega. México, 1990. Páginas 1 y 2.

dentro del cual se deben encuadrar todos los proyectos de instalaciones eléctricas. Estas normas son generales y muchas veces es necesario establecer especificaciones que aumentan la seguridad y vida de los equipos y que están por arriba de los parámetros de las normas.

4. Características de Operación

La vida de una instalación eléctrica es difícil de determinar, aunque podemos decir que depende de su proyecto, del cálculo en su diseño, de las condiciones de uso, el mantenimiento y el medio ambiente.

Por otra parte, la compañía suministradora de energía eléctrica debe garantizar un servicio que cumpla con los elementos mínimos, de tal forma que los usuarios puedan tener la certeza de que sus equipos operarán correctamente y no sufrirán daños por un suministro deficiente.

Los sistemas de energía eléctrica operan con ondas de una frecuencia determinada, dentro de cierta tolerancia. No existe un estándar internacional respecto a la frecuencia; los países de Europa, la mayor parte de Asia y África y algunos de Sudamérica han adoptado una frecuencia de 50 Hertz (ciclos/seg.). En América del Norte, incluyendo México (desde 1969), y otros países del continente americano los sistemas eléctricos operan a 60 Hertz.

Las ondas de voltaje que produce una planta generadora en una red eléctrica son muy cercanas a una *senoide*. Para lograr que un generador síncrono produzca ondas senoidales se requiere de un diseño muy cuidadoso y complicado. Dependiendo del tipo de rotor, estas ondas se obtienen con cierto acomodo del devanado de campo o mediante un diseño especial de la forma de los polos.

A pesar de la dificultad para generarlas, las ondas senoidales se utilizan porque tienen la propiedad de conservar su forma a todo lo largo de la red. Esto sucede aunque la red tenga componentes cuyas propiedades físicas sean equivalentes a la derivación o integración de la función que representa la onda de entrada. En otras palabras, la ventaja más importante de las ondas senoidales es que son funciones cuya integral o derivada es otra senoide desfasada en el tiempo.

De acuerdo con Fourier cualquier función periódica puede representarse mediante una serie infinita de funciones senoidales. Esta serie contiene un término que es de la misma frecuencia que la función original, que se le llama componente fundamental. El resto de los términos se conocen como armónicas porque su

frecuencia es múltiplo de la frecuencia fundamental. De esta manera se puede considerar que una onda está descompuesta en componente fundamental y armónicas. Las funciones periódicas que poseen simetría de media onda, que es el caso de las ondas en sistemas eléctricos de potencia, sólo contienen armónicas impares.

Entre mayor sea el contenido de armónicas de una onda, mayor será su desviación de la forma senoidal, y traer con eso, una interferencia negativa en la alimentación de cargas e incluso en el entero del sistema.

En la actualidad la generación y transmisión de la energía eléctrica se hace en tres fases. Esto se debe a las ventajas económicas que un sistema trifásico tiene frente a uno monofásico. De esta manera se generan tres voltajes de la misma magnitud desfasados 120° en el tiempo, lo que constituye un sistema equilibrado.

Las cargas trifásicas producen corrientes de la misma magnitud en las tres fases. Este no es el caso de las cargas monofásicas que pueden producir desequilibrios entre las corrientes que circulan por las líneas. Estas cargas que desequilibran el sistema pueden provocar que los voltajes ya no sean iguales en magnitud, y que los ángulos entre ellos cambien. A este fenómeno se le conoce como desbalance de voltaje.

Un sistema desbalanceado puede ser causa de sobrecalentamiento en los generadores y crear problemas en los equipos de los consumidores (especialmente en los motores síncronos). Por esta razón las compañías responsables del suministro limitan a los consumidores para que eviten que el desbalance de sus cargas vaya más allá de un 5%.

Para el estudio de un sistema trifásico desequilibrado se utiliza la teoría de las componentes simétricas, que proporciona las herramientas necesarias para descomponerlo en tres sistemas equilibrados denominados: secuencia directa, secuencia inversa y secuencia cero u homopolar.

A continuación analizaremos algunos de los elementos fundamentales en una instalación eléctrica en sus aspectos generales.

5. Acometida.

La DGN define acometida como "conductores y equipo necesario para llevar la energía eléctrica desde el sistema de suministro al sistema de alambrado de la propiedad alimentada" (cfr. NOM-001-SEMP-1994, capítulo I)

Así que es el punto donde se hace la conexión entre la red, propiedad de la compañía suministradora, y el alimentador que abastece al usuario. La acometida también puede entenderse como la línea (aérea o subterránea) que por un lado entronca con la red eléctrica de alimentación y por el otro tiene conectado el sistema de medición.¹⁵

En las terminales de entrada de la acometida normalmente se colocan apartarrays para proteger la instalación y el equipo contra ondas de alto voltaje, ya sea de origen atmosférico o por maniobras de conexión o desconexión en la red de suministro.

6. Equipo de medición

Es todo el equipo que la compañía suministradora coloca en la acometida de un inmueble para efectuar la medición del consumo de energía y verificar que esté de acuerdo a las condiciones del contrato. Es un equipo sellado y protegido contra agentes externos, que debe estar en un lugar visible y accesible para su lectura y revisión.

7. Interruptores

"Un interruptor es un dispositivo que está diseñado para abrir o cerrar un circuito eléctrico por el cual está circulando una corriente. Puede utilizarse como medio de desconexión o conexión y, si está provisto de los dispositivos necesarios, también puede incluir la función de protección contra sobrecargas y/o cortocircuitos."¹⁶

Existen diversos tipos de interruptores, según su función o colocación dentro del esquema general de la instalación:

7.1 Interruptor general.

¹⁵ Bratu, Neagu y Campero, Eduardo; INSTALACIONES ELÉCTRICAS. CONCEPTOS BÁSICOS Y DISEÑO; Editorial Alfa Omega. México, 1990. Página 11

¹⁶ Ibidem.

Se le denomina interruptor general o principal al que va colocado entre la acometida (después del equipo de medición) y el resto de la instalación y que se utiliza como medio de desconexión y protección de la red suministradora.

El interruptor general debe estar accesible y ser de fácil operación, ya que en una emergencia debe permitir desenergizar la instalación completa interrumpiendo las corrientes de corto circuito que pueden ocasionar graves daños tanto en el cableado de la instalación como en las cargas instaladas.

El interruptor general puede ser simplemente una caja con cuchillas y fusibles, un interruptor termomagnético, o un interruptor de potencia, según el tipo de instalación.

7.2. Interruptor derivado.

Se llama interruptor derivado a aquél que protege los circuitos eléctricos de una determinada sección de la instalación.

Una típica instalación residencial está protegida en su interruptor general por navajas y fusibles, y en sus circuitos derivados, que pueden ser dos o más, según el tamaño de la instalación, por interruptores termomagnéticos conocidos con el nombre de "breakers".

7.3. Interruptor termomagnético.

"Uno de los interruptores más utilizados y que sirve para desconectar y proteger contra sobrecargas y cortocircuitos es el termomagnético. Se fabrica en gran variedad de tamaños, por lo que su aplicación puede ser como interruptor general o derivado. Su diseño le permite soportar un gran número de operaciones de conexión y desconexión, lo que lo hace muy útil en el control manual de una instalación. Tiene un elemento electrodinámico con el que puede responder rápidamente ante la presencia de un cortocircuito. Para la protección contra sobrecarga se vale de un elemento bimetálico".¹⁷ Se les conoce comúnmente con el nombre de breakers.

8. Arrancadores

¹⁷ *idem*. Página 12.

Se conoce como arrancador al arreglo compuesto por un interruptor, ya sea termomagnético o de navajas (cuchillas) con fusibles, un contacto electromagnético y un relevador bimetalico. El contacto consiste básicamente de una bobina con un núcleo de hierro que cierra o abre un juego de contactos al energizar o desenergizar la bobina.

Los relevadores bimetales tienen constantes térmicas grandes que permiten sobrecargas instantáneas (arranque de motores), y se pueden calibrar según las necesidades de corriente del motor al arranque.

9. Transformadores en subestaciones

Según el tamaño de la instalación y la magnitud de carga instalada, a partir de un determinado valor de carga la compañía suministradora pide al contratante el montaje de una subestación para que la alimentación que proviene de la red se pueda hacer en un voltaje lo suficientemente alto para que no provoque un desbalance de cargas en el sistema eléctrico de esa zona con la consiguiente baja eficiencia en el servicio.

Esa subestación está compuesta de uno o varios transformadores cuyo valor de transformación dependen de la carga instalada. Al hablar de subestaciones (capítulo IV) de la tesis, abordaremos más a fondo este tema.

10. Tableros

La DGN define tablero como "Un panel o grupo de paneles individuales diseñados para constituir un solo tablero; incluye barras, dispositivos automáticos de protección contra sobrecorriente y puede tener o no interruptores para controlar los circuitos de fuerza, iluminación o calefacción. Está diseñados para instalarse dentro de una caja o gabinete colocado, embutido o adosado a una pared o tabique y ser accesible sólo por el frente" (cfr. NOM-001-SEMP-1994, capítulo I, definiciones)

10.1 Tablero general.

El tablero general es aquél que se coloca inmediatamente después del transformador o de la acometida, sin la instalación no tiene subestación, y que contiene un interruptor general. El transformador se conecta a la entrada del

interruptor y a la salida de éste se conectan barras que distribuyen la energía eléctrica a diferentes circuitos a través de interruptores derivados.

El tablero general puede contener a su vez un centro de control de motores, con los que manipula los arrancadores de los motores desde distancia, si es que se desea tener en el tablero un panel que controle las cargas de fuerza que dependen de dicha instalación.

10.2 Tablero de distribución

“Panel sencillo, armazón o conjunto de paneles, donde se instalan, ya sea por el frente, por detrás o en ambos lados, interruptores, dispositivos de protección contra sobrecorriente y otras protecciones, soleras e instrumentos. Los tableros de distribución normalmente son accesibles desde el frente y desde atrás y no están previstos para instalarse dentro de gabinetes.” (cfr. NOM-001-SEMP-1994, capítulo I, definiciones)

Cada área de una instalación está normalmente alimentada por uno o varios tableros de distribución o derivados. Estos tableros pueden tener un interruptor general, dependiendo de la distancia al tablero de donde se alimenta y del número de circuitos que alimente. También, por disposición de la DGN, todos los circuitos derivados deben tener una protección contra sobrecorriente.

Contienen una barra de cobre para el neutro y 1, 2 ó 3 barras conectadas a las fases respectivas (directamente o a través del interruptor general).

Normalmente, las barras de las fases tienen interruptores termomagnéticos. Estos últimos a su vez alimentan: unidades de alumbrado, salidas para contactos o equipos especiales (que a su vez pueden estar provistos son dispositivos de arranque y protección de cargas de fuerza).

11. Conductores eléctricos.¹⁸

La función primordial de un cable de energía aislado es la de transmitir energía eléctrica a una corriente y tensión preestablecidas, durante cierto tiempo.

¹⁸cfr. Sierra Madrigal, Victor y Sansores Escalante, Alfonso, MANUAL TÉCNICO DE CABLES DE ENERGÍA, 2a. Edición, Editorial McGraw Hill, México, 1984, páginas 1-33.

Es por ello que sus elementos constitutivos primordiales deben estar diseñados para soportar el efecto combinado producido por estos parámetros.

11.1 Elementos constitutivos

Los elementos constitutivos adecuados para cumplir con estas tres funciones son:

- a) El conductor, por el cual fluye la corriente eléctrica.
- b) El aislamiento, que soporta la tensión aplicada
- c) La cubierta, que proporciona la protección contra el ataque del tiempo y los agentes externos.

Un cuarto elemento fundamental en la operación correcta de un cable de energía aislado lo constituyen las pantallas, que como función principal permiten una distribución de los esfuerzos eléctricos en el aislamiento en forma radial y simétrica.

Finalmente, sobre los elementos anteriores, y cuando es deseable dar protección adicional al cable contra agentes externos y esfuerzos de tensión extraordinarios, se usan las armaduras metálicas.

El cable, por su formación final podrá ser unipolar o tripolar, según el número de conductores que contenga.

En el caso de cables tripolares, los espacios dejados entre fases se ocupan con rellenos adecuados.

Los cables unipolares, una vez terminados, pueden ser reunidos en un cableado en espiral de paso largo, dando lugar a un cable en formación triplex.

11.2 Materiales

Los *materiales* más usados como conductores eléctricos son el cobre y el aluminio, aunque el cobre es superior en características eléctricas y mecánicas (la conductividad del aluminio es aproximadamente el 60% de la del cobre y su resistencia a la tensión mecánica el 40%), las características de bajo peso del aluminio han dado lugar a un amplio uso de este metal en la fabricación de cables aislados y desnudos.

En el cobre usado en conductores eléctricos se distinguen tres temple o grados de suavidad del metal: suave o recocado, semiduro y duro; con propiedades algo diferentes, siendo el cobre suave el de mayor conductividad eléctrica y el cobre duro el de mayor resistencia a la tensión mecánica.

11.3 Flexibilidad

La flexibilidad de un conductor se logra de dos maneras, recociendo el material para suavizarlo o aumentando el número de alambres que lo forman. A la operación de reunir varios conductores se le denomina cableado y da lugar a diferentes flexibilidades, de acuerdo con el número de alambres que lo forman, el paso o longitud del torcido de agrupación y el tipo de cuerda.

El grado de flexibilidad de un conductor como función del número de alambres del mismo, se designa mediante letras que representan la clase de cableado. Por ejemplo:¹⁹

AA	Cable desnudo, generalmente para líneas aéreas
A	Cable aislado, tipo intemperie, o cables desnudos de mayor flexibilidad.
H	Cables y cordones con aislamiento de hule que requieren mucha flexibilidad.
J	Cordones para artefactos eléctricos
M	Cables para soldadoras.

11.4 Calibre

Desde hace años las dimensiones de los alambres se han expresado comercialmente por números de *calibres*, en especial en Estados Unidos.

En ese país, la escala más usada para alambres destinados a usos eléctricos es la "American Wire Gage" (AWG), misma que hemos adoptado en México.

La AWG tiene la propiedad de que sus dimensiones representan aproximadamente los pasos sucesivos del proceso de estirado del alambre y, además, al igual que otras escalas, sus números son regresivos, un número mayor representa un alambre de menor diámetro, correspondiendo a los pasos del estirado.

¹⁹idem, página 6

Algunos valores del calibre de los cables se presentan en la siguiente tabla:²⁰

AWG	AREA, mm ²	# de alambres	Diámetro exterior, mm	peso nominal kg./km.
8	8,37	7	3,4	75,9
4	21,15	7	5,41	191,9
2	33,6	7	6,81	305
1	42,4	19	7,59	385
1/0	53,50	19	8,53	147,5
4/0	107,2	19	12,06	972

11.5 Aislamiento

La función del *aislamiento* es confinar la corriente eléctrica en el conductor y contener el campo eléctrico dentro de su masa.

Los aislamientos se pueden dividir en dos grupos principales:

A) De papel impregnado. Emplea un papel especial obtenido de pulpa de madera, con celulosa de fibra larga.

B) Aislamientos de tipo seco. A excepción hecha del hule natural (ya en desuso), los aislamientos secos son compuestos cuya resina base se obtiene de la polimerización de determinados hidrocarburos. Según su respuesta al calor pueden ser termoplásticos o termofijos.

11.6 Cubiertas

La función primordial de las *cubiertas* es la de proteger al cable de los agentes externos del medio ambiente que lo rodea, tanto en la operación como en la instalación. Las cubiertas principalmente pueden ser de los siguientes materiales:

Metálicas (principalmente de plomo y aleaciones, o aluminio),
Termoplásticas (de PVC y polietileno),
Elastoméricas (neopreno y el Hypalon) y,
Textiles (yute impregnado de asfalto y un baño de cal y talco).

²⁰idem, página 9

12. Canalizaciones.

"Se entiende por canalizaciones eléctricas a los dispositivos que se emplean en las instalaciones eléctricas para contener a los conductores de manera que queden protegidos contra deterioro mecánico y contaminación, además protejan a las instalaciones contra incendios por arcos eléctricos que se presentan en condiciones de corto circuito."²¹

Las canalizaciones más comunes son:

12.1 Tubos conduit.

Es un tipo de tubo (de metal o plástico) usado para contener y proteger los conductores eléctricos usados en las instalaciones.

Junto con los tubos conduit, existen algunos accesorios que sirven para las terminales de los tubos y para un manejo más práctico de la instalación. De hecho, todas las conexiones de conductores o uniones entre conductores se deben hacer en cajas de conexión aprobadas para tal fin y deben estar instaladas en lugares accesibles para poder hacer cambios en el alumbrado. También los apagadores y contactos eléctricos se deben encontrar alojados en cajas. Estas cajas metálicas son de acero galvanizado y de diversas formas geométricas.

12.2 Ductos.

Son otros medios de canalización de conductores eléctricos que se usan sólo en las instalaciones visibles debido a que no se pueden montar dentro de losas de concreto o yeso. Tienen la ventaja sobre los conduit de ofrecer mayor espacio para alojar conductores y mejor disipación del calor. Requieren, sin embargo, mayor mantenimiento.

12.3 Charolas.

En el uso de charolas se tienen aplicaciones similares a las de los ductos, y se recomienda alinear los conductores de manera que guarden siempre la

²¹Enríquez Harper Gilberto, El ABC DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES, Ed. Limusa, México, 1985. Página 122

misma posición relativa en todo el trayecto de la charola, especialmente los de grueso calibre. Conviene también poner etiquetas de identificación de conductores en el caso de que se traten de conductores de diversos circuitos y usar abrazaderas especiales para el caso de trayectorias verticales largas.

13. Alumbrado y contactos.

Las unidades de alumbrado, al igual que los motores, están al final de la instalación y son consumidores que transforman la energía eléctrica en energía luminosa y generalmente también en pérdidas de energía calorífica.

Los contactos sirven para alimentar diferentes equipos portátiles y van alojados en cajas donde podemos decir que termina la instalación eléctrica.²²

Las lámparas que constituyen los sistemas de iluminación pueden ser clasificadas de acuerdo a sus principios de funcionamiento en: lámparas incandescentes, de descarga y de inducción.

13.1 Lámpara incandescente

La lámpara incandescente es un radiador térmico cuyo cuerpo luminoso está constituido por un filamento de tungsteno a través del cuál se hace pasar una corriente eléctrica, bajo cuya acción dicho filamento eleva su temperatura hasta la incandescencia emitiendo a esta temperatura radiaciones comprendidas dentro del espectro visible al ojo humano.

13.2 Lámpara fluorescente

Las lámparas fluorescentes basan su funcionamiento en la descarga en vapor de mercurio a baja presión. El tubo de descarga está relleno de un gas inerte y una pequeña cantidad de mercurio en forma de líquido y vapor. En cada extremo del tubo va alojado un electrodo sellado herméticamente. Estos electrodos emiten electrones al gas para ser ionizado y de esta forma generar una descarga de partículas convertidas en radiación ultravioleta.

²² cfr. Bratu, Neagu y Campero, Eduardo; INSTALACIONES ELÉCTRICAS, CONCEPTOS BÁSICOS Y DISEÑO; Editorial Alfa Omega. México, 1990. Página 15.

El interior del tubo está recubierto por una mezcla de polvos fluorescentes. Estos convierten la radiación ultravioleta de la descarga generada en otras longitudes de onda más largas, dentro del espectro visible.

A diferencia de la lámpara incandescente, una lámpara fluorescente no puede funcionar por sí sola en el circuito sin algún dispositivo que limite el flujo de la corriente y el voltaje a través de ella. Este dispositivo es llamado balastro.

La parte más vulnerable de cualquier lámpara de descarga son los electrodos. Durante la vida de la lámpara estos electrodos van disminuyendo su emisión de partículas hasta que no hay material suficiente para generar la descarga en el gas.

13.3 Lámpara de inducción

La lámpara de inducción no necesita electrodos. Su principio de operación se fundamenta en la descarga en gas a baja presión. Utiliza un generador de alta frecuencia y una antena emisora (colocada dentro del bulbo) con el objetivo de crear un campo electromagnético dentro del bulbo (descarga de vessel) que induzca una corriente en el gas para ser ionizado y crear la descarga.

Su principal ventaja sobre las demás fuentes luminosas es la duración, de aproximadamente 60,000 hrs, contra 20,000 hrs de las lámparas fluorescentes y 1,000 hrs de las incandescentes.

El luminario es un accesorio que junto con la lámpara y el balastro (sólo en lámparas de descarga) conforman un sistema de iluminación integral. Cada luminario debe ser diseñado para controlar y distribuir la luz emitida, dar soporte y conexión a las lámparas y balastros y protegerlos de agentes externos y cada luminario está compuesto por un gabinete, un reflector y un difusor o pantalla.²³

14. Motores eléctricos.

Los motores se encuentran al final de las ramas de una instalación y su función es transformar la energía eléctrica en energía mecánica.

²³Cfr. Torrijos Elorriaga, Roberto; DISEÑO DE ILUMINACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO INTELIGENTE" Tesis profesional, Universidad La Salle, México, 1994. Páginas 15-30.

Para la correcta instalación de los motores eléctricos es necesario tomar en cuenta la función que se asignará a cada motor y las características de tensión, frecuencia, tipo de corriente, etc., de cada uno.

La clasificación más general de motores es la que los divide en motores de corriente continua y motores de corriente alterna. Por el tipo de instalación de que se tratará en esta tesis ahora se referirá solamente a los motores de corriente alterna.

14.1 Motores de corriente alterna asíncronos, jaula de ardilla

Los motores de corriente alterna se pueden clasificar en dos grupos: motores síncronos y motores asíncronos o de inducción.

A su vez, los asíncronos o de inducción se dividen en motores tipo jaula de ardilla y motores de anillos rozantes (también conocidos como de Rotor devanado).

Por lo generalizado de su uso, los motores más comunes son los motores de corriente alterna asíncronos de inducción o tipo jaula de ardilla. Estos motores se les llama asíncronos pues su velocidad varía con la aplicación de carga y es siempre menor a la de sincronismo. La característica que les da su nombre es el tipo de devanado del rotor formado por barras conductoras interconectadas con anillos (en cortocircuito) cuyo diseño es muy parecido a una jaula de ardilla. Estos motores son económicos pero tienen la desventaja de requerir una corriente muy alta en el momento de arranque (6 a 7 veces la corriente a plena carga o nominal).²⁴

Los motores de inducción polifásicos se pueden conectar de modo directo a las fases alimentadoras, con la inconveniencia de que al arranque demandan un corriente muy alta de hasta cuatro veces la corriente de placa a plena carga.

14.2 Recomendaciones generales para instalación de motores

"Tratándose ya no de instalaciones eléctricas de casas habitación, de oficinas o de pequeños comercios sino de una instalación eléctrica industrial, deben tenerse presentes un sinnúmero de condiciones, unas de ellas pueden ser:

²⁴cfr. Bratu, Neagu y Campero, Eduardo; INSTALACIONES ELÉCTRICAS, CONCEPTOS BÁSICOS Y DISEÑO; Editorial Alfa Omega. México, 1990. Página 15.

1.- Las canalizaciones que encierran conductores eléctricos para conectar lámparas y contactos monofásicos, deben ser totalmente independientes de las canalizaciones que encierran conductores eléctricos para conectar motores (sistema de fuerza).

2.- Por lo anterior, es evidente que hay necesidad de disponer de dos planos como mínimo, uno para el proyecto de alumbrado y contactos y otro para el proyecto de fuerza.

3.- La localización de motores se hace por medio de pequeños círculos con un número dentro para su completa identificación a la vez que por separado en lugar visible y en forma ordenada con los números colocados en forma progresiva se expresa claramente a que motor o máquina corresponden.

4.- Así como en el plano de alumbrado y contactos se indica un *cuadro de cargas* marcando el número total de circuitos derivados empleados, el tipo y capacidad de las lámparas por conectar, tipo y capacidad de los contactos, etc., en el plano correspondiente al proyecto de fuerza es obligado indicar un cuadro denominado *cuadro de fuerza y protecciones*.

Como puede observarse, para la correcta protección de motores eléctricos, los elementos fusibles deben ser de una capacidad tal que soporten la corriente de arranque, que es varias veces el valor de la corriente de placa o corriente nominal, pero no mayor de 400% el valor de ésta, a no ser que comercialmente no se disponga de elementos fusibles de la capacidad requerida.

La capacidad de corriente de los elementos térmicos, debe ser en promedio de 140% la corriente de placa o corriente nominal del motor al cual deben proteger, es decir, los elementos térmicos son calculados en promedio para una corriente de 1.4 veces la corriente nominal, ya que su acción retardada les permite soportar la corriente de arranque, que aunque es bastante mayor, lo es en forma instantánea.²⁵

14.3 Corriente de placa

Se le llama corriente de placa, corriente nominal I_n o corriente a plena carga, a la corriente que consume un motor al desarrollar su Potencia a velocidad normal.

²⁵ Enríquez Harper Gilberto, INSTALACIONES ELÉCTRICAS PRÁCTICAS, 11a. Edición, Editorial Limusa, México, 1985. Página 204-208

Los datos de este valor se pueden encontrar en la placa que todo motor debe tener en su carcasa con las especificaciones de su diseño y operación.

Además de la corriente nominal, en dicha placa podemos encontrar datos como su potencia, su tensión, su frecuencia de operación, si es monofásico o polifásico, y si hay necesidad de una protección adicional, proporcionada a través de arrancadores, ya sean manuales o automáticos, a plena tensión o a tensión reducida.

15. Planta de Emergencia

“Existe una gran cantidad de instalaciones eléctricas que cuentan con una planta de emergencia para protegerse contra posibles fallas en el suministro de energía eléctrica. Normalmente en todos aquellos lugares de uso público (especialmente en hospitales), se requiere de una fuente de energía eléctrica que funcione mientras la red suministradora tenga caídas de voltaje importantes, fallas en alguna fase o interrupciones del servicio.

Las plantas de emergencia constan de un motor de combustión interna acoplado a un generador de corriente alterna. El cálculo de la capacidad de una planta eléctrica se hace en función de las cargas que deben operar permanentemente. Estas cargas deberán quedar en un circuito alimentador y canalizaciones independientes.

La conexión y desconexión del sistema de emergencia se hace por medio de interruptores de doble tiro (manuales o automáticos) que transfieren la carga del suministro normal a la planta de emergencia. Las plantas automáticas tienen sensores que detectan la ausencia de voltaje (o caídas más abajo de cierto límite) y envían una señal para que arranque el motor de combustión interna.”²⁶

16. Conexiones a tierra

Según la NOM-001-SEMP-1994, capítulo 1, podemos definir Tierra como la conexión conductora intencional o accidental entre un circuito o equipo eléctrico y la tierra o algún conductor que se usa en su lugar.

²⁶ Bratu, Neagu y Campero, Eduardo; INSTALACIONES ELÉCTRICAS, CONCEPTOS BÁSICOS Y DISEÑO; Editorial Alfa Omega. México, 1990. Página 16.

Sin embargo, como las conexiones a tierra implican unas definiciones más completas de lo que es tierra, neutro, etc., se puede hacer la siguiente lista de definiciones:

16.a) Tierra.

“Desde el punto de vista eléctrico, se considera que el globo terráqueo tiene un potencial de cero (o neutro); se utiliza como referencia y como sumidero de corrientes indeseables. Sin embargo, puede suceder que por causas naturales (presencia cercana de nubes o descargas atmosféricas) o artificiales (falla eléctrica en una instalación) una zona terrestre tenga en forma temporal una carga eléctrica negativa o positiva con respecto a otra zona (no necesariamente lejana). Por esta razón pueden aparecer corrientes en conductores cuyos extremos estén en contacto con zonas de potenciales distintos. (Aunque ambos estén “haciendo tierra”).

16.b) Resistencia a tierra.

Este término se utiliza para referirse a la resistencia eléctrica que presenta el suelo (tierra) de cierto lugar. El valor de la resistencia a tierra debe estar dentro de ciertos límites dependiendo del tipo de instalación.

16. c) Toma de tierra.

Se entiende que un electrodo enterrado en el suelo con una terminal que permita unirlo a un conductor es una toma de tierra. Este electrodo puede ser una barra o tubo de cobre, una varilla o tubo de hierro y en general cualquier estructura que esté en contacto con la tierra y que tenga una resistencia a tierra dentro de ciertos límites.

16. d) Tierra remota.

Se le llama así a una toma de tierra lejana al punto que se esté considerando en ese momento. Su definición es útil ya que puede utilizarse como referencia en caso de que fluyan corrientes entre la instalación y esa toma de tierra.

16. e) Sistema de tierra.

Se llama sistema de tierra a la red de conductores eléctricos unidos a una o más tomas de tierra y provistos de una o varias terminales a las que pueden conectarse puntos de la instalación. El sistema de tierra de una instalación se diseña en función de: el nivel de voltaje, la corriente de cortocircuito, la superficie que ocupa la instalación, la probabilidad de explosión y/o incendio, la resistencia a tierra, la humedad y la temperatura del suelo.

En una industria pueden existir varios sistemas de tierra independientes: para la subestación y equipo de fuerza (motores), para el sistema de pararrayos (que puede o no estar interconectado con el primero) y para instrumentos, computadoras y equipos de transmisión o recepción de señal. Deben respetarse ciertas separaciones entre las tomas de tierra de cada sistema para evitar interferencias. Los conductores que se conecten a los diferentes sistemas deberán estar aislados y protegidos desde la conexión.

En la práctica ningún sistema de tierra es perfecto, ya que se requeriría que los conductores que lo forman y el suelo tuvieran una resistencia cero.

16. f) Conexión a tierra.

La unión entre un conductor y el sistema de tierra es una conexión a tierra.

16. g) Tierra física.

Se dice que un conductor se conecta a una tierra física cuando se une sólidamente a un sistema de tierra, que a su vez está directamente conectado a la toma de tierra (sin que exista entre ellos más impedancia que la de los conductores). Se puede considerar que el potencial de una tierra física se mantiene prácticamente constante, aunque exista un flujo de corriente entre este punto y la toma de tierra.

16. h) Neutro aislado.

Se denomina así al conductor de una instalación que está conectado a tierra a través de una impedancia (resistiva o inductiva). La función de esta impedancia es limitar la corriente de cortocircuito que circularía por el conductor, o las partes del equipo que estén conectadas a tierra, y disminuir así los posibles daños.

Por ejemplo, en un motor de 1500 HP con neutro sólidamente conectado a tierra, la corriente de falla entre fase y tierra podría ser de hasta 10000 amperes, iría

acompañada de una pequeña explosión y lo más probable es que las laminaciones del rotor y estator se dañen junto con los conductores. En cambio, se puede calcular el valor de una impedancia que, colocada entre el neutro del transformador (aislado) y la toma de tierra (o el sistema de tierra), impida que la corriente pase de cierta magnitud. El IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) recomienda que esta corriente sea de 600 amperes. Esta protección se logra colocando en la línea del neutro un relevador de corriente que detecta la falla y manda una señal para desconectar el interruptor correspondiente. La instalación de esta protección es compleja y requiere de un cálculo muy preciso de los valores de la corriente de cortocircuito y de la selección y especificación de los elementos.

16.i) Neutro del generador.

Se le llama así al punto que sirve de referencia para los voltajes generados en cada fase. En sistemas equilibrados y bajo circunstancias de operación normales, la diferencia de potencial entre el neutro del generador y la tierra física del lugar donde está instalado es cero.

16.j) Neutro de trabajo.

Es aquél que se requiere para la conexión de un consumidor alimentado por una sola fase. La sección transversal del conductor de este neutro y de la fase deben ser iguales, ya que conducen la misma corriente.

16.k) Neutro conectado sólidamente a tierra.

Este tipo de conexión se utiliza generalmente en instalaciones de baja tensión para proteger a las personas contra el peligro de electrocución. En el caso de que se presente una falla de aislamiento entre un conductor energizado y una parte metálica desnuda se produce un cortocircuito y actúa la protección que desenergiza al circuito respectivo.

16.l) Neutro de un sistema.

Es un potencial de referencia de un sistema que puede diferir del potencial de tierra y que puede no existir físicamente. Por ejemplo en una interconexión de transformadores tipo delta no existe un neutro físico, aunque sí un neutro de referencia.

16.m) Neutro flotante.

Se le llama así al neutro de una instalación que no se conecta a tierra. Dependiendo de las condiciones de operación puede existir una diferencia de potencial entre este neutro y tierra."²⁷

17. La Subestación

"La subestación eléctrica es el conjunto de dispositivos eléctricos, que forman parte de un sistema eléctrico de potencia; sus funciones principales son: transformar tensiones y derivar circuitos de potencia."²⁸

Se pueden hacer diversas clasificaciones de los tipos de subestaciones eléctricas existentes. Por la función que desempeñan las subestaciones pueden ser:

Subestaciones variadoras de tensión
Subestaciones de maniobra o seccionadoras de circuito
Subestaciones que cumplen ambas funciones

Por la tensión que manejan las subestaciones pueden ser:

- a) Subestaciones de transmisión. Arriba de 230 kV
- b) Subestaciones de subtransmisión. Entre 230 y 115 kV
- c) Subestaciones de distribución primaria. Entre 115 y 23 kV
- d) Subestaciones de distribución secundaria. Abajo de 23 kV

El comité consultivo Nacional de Normalización de la Industria Eléctrica (CCONNIE) elabora las normas que rigen la fabricación e implementación de las diversas subestaciones eléctricas en nuestro país.

A continuación se hará una descripción general del equipo de una subestación.

17.1 Transformadores de potencia

²⁷ Idem, páginas 17-19.

²⁸ Raúl Martín, José; DISEÑO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS; Editorial Mc Gran Hill; 1a. edición; México, D.F., 1992, página 1.

Un transformador es una máquina electromagnética cuya función es cambiar la magnitud de las tensiones eléctricas de un circuito de entrada (llamado primario) a un circuito de salida (llamado secundario).

Se puede ver el transformador como constituido por tres partes: parte activa, parte pasiva y los accesorios.

Parte activa:

En la parte activa se realiza principalmente la transformación de las tensiones entre el circuito primario y el secundario. Esta parte está constituida por:

1. Núcleo:

Que constituye el circuito magnético y está fabricado por lo general en láminas de acero al silicio.

El objeto del núcleo común de hierro es incrementar el flujo magnético y proporcionar un medio por el cual todo el flujo de una bobina pasa por la otra bobina. Las pérdidas por corrientes parásitas se reducen si se utiliza un núcleo de hierro laminado. Se emplea hierro²⁹ suave, como el material del núcleo, con objeto de reducir pérdidas por histéresis.

2. Bobinas:

Las bobinas constituyen el circuito eléctrico del transformador. Comúnmente son de alambre de cobre o de aluminio, forrados de un material aislante.

Las pérdidas por efecto Joule debidas a la resistencia finita de los alambres de la bobina se manifiestan como un calentamiento y son por lo general muy pequeñas.

Las normas de diseño de los transformadores no especifican nada a cerca del material de las bobinas o de su recubrimiento, por lo que queda a juicio del diseñador en función de la capacidad, tensión, temperatura y medio de funcionamiento del transformador.

²⁹ Serway Raymond A.; FÍSICA; Nueva Editorial Interamericana; México, D.F., 1985; página 689.

Los devanados del transformador (núcleo y bobinas) tienen conductos de enfriamiento por los que fluye aceite para eliminar el calor generado en el interior del tanque. Además deben tener apoyos y sujeciones para soportar su propio peso y los esfuerzos generados durante el tiempo de trabajo del transformador.

Las bobinas, según la capacidad y tensión del transformador pueden ser de tipo rectangular para pequeñas potencias, de tipo cilíndrico para potencias medianas y de tipo galleta para potencias altas.

3. Cambiador de derivaciones:

Es un mecanismo encargado de regular la tensión de la energía que fluye en un transformador. Conviene instalarlo en el lado de alta tensión.

4. Bastidor:

Formado por las estructuras que rodean al núcleo y las bobinas. Su función es soportar los esfuerzos generados durante la operación del transformador.

Los transformadores típicos tienen rendimientos de potencia que varían de 90 a 99%.

Parte pasiva:

Es el tanque donde se aloja la parte activa; se utiliza sólo en los transformadores cuya parte activa va sumergida en líquidos.

Es un tanque hermético, que debe soportar el vacío absoluto sin deformación permanente; debe proteger eléctrica y mecánicamente el transformador, ofrecer puntos de apoyo para transportarlo y cargarlo, soportar los enfriadores, bombas de aceite, ventiladores y accesorios principales.

La base del tanque debe ser reforzada para soportar maniobras de levantamiento del transformador, y el peso propio del mismo.

El tanque y los radiadores de un transformador deben tener un área suficiente para la buena disipación del calor generado por las pérdidas de energía.

Un transformador de alta potencia muchas veces no tiene suficiente disipación de calor con el tanque y los radiadores, por lo que se hace necesaria la

implementación de enfriadores a través de los cuales se hace circular aceite por medio de bombas recibiendo además aire por medio de ventiladores para aumentar su eficiencia. A este tipo de eliminación térmica se le llama de enfriamiento forzado.³⁰

El enfriamiento de los transformadores se clasifica en los siguientes grupos:

1. Clase OA. Enfriamiento por aire. Circulación natural.
2. Clase OW. Enfriamiento por agua a través de un serpentín. Circulación natural.
3. Clase FOA. Enfriamiento por aceite y aire forzados.

Accesorios:

Son todos aquellos elementos que facilitan la operación y el mantenimiento del transformador. Entre otros se pueden ver:

1. Tanque conservador:

Es un tanque extra colocado sobre el tanque principal del transformador, cuya función es absorber la expansión del aceite debido a los cambios de temperatura, provocados por los incrementos de carga en los circuitos consumidores de la subestación. En caso de una elevación de temperatura, el nivel del aceite se eleva comprimiendo el gas contenido en la parte superior del tanque sellado, o expulsando el gas hacia el exterior si es que el tanque tiene respiración.

En este tanque conservador no debe permanecer el aceite en contacto con el aire. Por un lado, porque al estar variando el nivel del aceite el aire que penetraría tiene humedad que se condensaría dentro de él y escurriría hacia adentro del transformador, y por otro lado, porque el aceite en contacto con el aire se oxida y pierde también características dieléctricas.

2. Boquillas:

Son los aisladores terminales de las bobinas de alta y baja tensión que se utilizan para atravesar el tanque o la tapa del transformador.

³⁰ cfr. Raúl Martín, José; DISEÑO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS; Editorial Mc Gran Hill; 1a. edición; México, D.F., 1992, páginas 40 a 43.

3. Tablero:

Es un gabinete dentro del cual se encuentran los controles y protecciones de los motores de las bombas de aceite, de los ventiladores, de la calefacción del tablero, del cambiador de derivaciones bajo carga, etc.

4. Válvulas.

Se utilizan para el llenado, vaciado, mantenimiento y muestreo del aceite del transformador.

5. Conectores a tierra:

Son unas piezas de cobre soldadas al tanque, donde se conecta el transformador a la red de tierra.

6. Placa de características:

Se instala en un lugar visible del transformador y en ella se graban los datos más importantes como son potencia, tensión, por ciento de impedancia, número de serie, diagramas vectorial y de conexiones, número de fases, frecuencia, elevación de temperatura, altura de operación sobre el nivel del mar, tipo de enfriamiento, por ciento de variación de tensión en los diferentes pasos del cambiador de derivaciones, peso y año de fabricación.

17.2 Transformadores de instrumentos

Son dispositivos electromagnéticos diseñados para proteger al operador de la subestación cuando éste hace la lectura de las magnitudes de tensión, corriente y potencia de la subestación. Esto es debido al peligro que implicaría que por los tableros de medición y control circularan grandes corrientes o se tuvieran altas tensiones. Dichos dispositivos reflejan la magnitud de corriente o tensión, pero se construyen para tensiones de 120 volts o corrientes de 5 amperes.

Los transformadores de corriente se colocan en serie con la línea, y los de potencial se conectan en paralelo, entre dos fases o entre fases y neutro.

³¹ibidem. Páginas 44-45.

17.3 Capacitores

Son unos dispositivos eléctricos formados por dos láminas conductoras, separadas por un lámina dieléctrica y que al aplicar una diferencia de tensión almacenan carga eléctrica.

Una de las aplicaciones más importantes del capacitor es la de corregir el factor de potencia en líneas de distribución y en instalaciones industriales, aumentado la capacidad de transmisión de las líneas, el aprovechamiento de la capacidad de los transformadores y la regulación del voltaje en los lugares de consumo.

17.4 Pararrayos.³²

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

Un dispositivo de protección efectivo debe tener tres características principales:

1. Comportarse como un aislador mientras la tensión aplicada no exceda de cierto valor predeterminado,
2. convertirse en conductor al alcanzar la tensión ese valor, y
3. conducir a tierra la onda de corriente producida por la onda de sobretensión.

Una vez desaparecida la sobretensión y restablecida la tensión normal, el dispositivo de protección debe ser capaz de interrumpir la corriente. Estas características se logran con el aparato llamado pararrayos.

Los pararrayos cumplen con las siguientes funciones:

- Descargar las sobretensiones cuando su magnitud llega al valor de la tensión disruptiva de diseño.
- Conducir a tierra las corrientes de descarga producidas por las sobretensiones.

³²ibidem, Página 69.

- Debe desaparecer la corriente de descarga al desaparecer las sobretensiones.
- No deben operar con sobretensiones temporales, de baja frecuencia.
- La tensión residual debe ser menor que la tensión que resisten los aparatos que protegen.

Las sobretensiones se pueden agrupar en las categorías siguientes:

1. Sobretensiones de impulso por rayo. son generadas por las descargas eléctricas en la atmósfera ; tienen una duración del orden de decenas de microsegundos.

2. Sobretensiones de impulso por maniobra. Son originadas por la operación de los interruptores. Producen ondas con frecuencias del orden de 10 kHz y se amortiguan rápidamente. Tienen una duración del orden de milisegundos.

3. Sobretensiones de baja frecuencia (60 Hz). Se originan durante los rechazos de carga en un sistema, por desequilibrios en una red, o corto circuito de fase a tierra. Tienen una duración del orden de algunos ciclos.

Los pararrayos deben quedar conectados permanentemente a los circuitos que protegen y entrar en operación en el instante en que la sobretensión alcanza un valor convenido, superior a la tensión máxima del sistema.

17.5 Interruptores.

El interruptor es un dispositivo destinado al cierre y apertura de la continuidad de un circuito eléctrico bajo carga, en condiciones normales, así como bajo condiciones de cortocircuito.

El interruptor es, junto con el transformador, el dispositivo más importante de una subestación. *Su comportamiento determina el nivel de confiabilidad que se puede tener en un sistema eléctrico de potencia.*

³³Aunque la energía del rayo sea moderada, debido a la escasa duración del fenómeno (de 30 a 25 μ seg), las tensiones son de algunos millones de voltios e intensidades del orden de 20 000 A y más que intervienen, han que los edificios sometidos al efecto de una descarga de este género puedan sufrir daños importantes como consecuencia de la circulación de tales corrientes a través de materiales malos conductores, o de conductores de secciones insuficientes. " Volger Karl, INSTALACIONES TÉCNICAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS, primera edición, Editorial Labor, Barcelona, España, 1968, página 279.

Dentro de los interruptores de corriente alterna de alta tensión están los de gran volumen de aceite, de pequeño volumen de aceite, neumáticos (aire comprimido), hexafluoruro de azufre y al vacío.

17.6 Fusibles.

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

Un juego de fusibles de alta tensión está formado por 3 polos. Cada uno de ellos está formado por una base metálica semejante a las utilizadas en las cuchillas, dos columnas de aisladores que pueden ser de porcelana o de resina sintética y cuya altura fija el nivel básico de impulso al que trabaja el sistema. Sobre los aisladores se localizan dos mordazas, dentro de las cuales entra a presión el cartucho del fusible.

Dentro del cartucho se encuentra el elemento fusible, que normalmente está formado por un alambre o tiras metálicas con una sección reducida, que está calibrada de acuerdo con su capacidad de corriente. En esta sección se produce una densidad de corriente elevada que, al pasar un valor determinado y durante un tiempo prefijado, se produce la fusión del elemento y la apertura del circuito de que se trate. Al fundirse el elemento fusible se generan gases a a presión dentro del cartucho del fusible que son proyectados hacia el exterior del tubo. El gas a presión está formado por el aire que se encuentra dentro del cartucho que se expande bruscamente por efecto del calor del arco eléctrico y que, al ser expulsado, produce la extinción del arco al pasar por cero la onda de corriente.

Para los elementos fusibles se utiliza como material un alambre de aleación a base de plomo, para el caso de bajas tensiones y corrientes, y una cinta de aleación a base de cobre o de aluminio, para el caso de mayores corrientes.

De acuerdo con su capacidad de ruptura, lugar de instalación y costo, se pueden utilizar diferentes tipos de fusibles, como son:

- 1) *fusible limitador de corriente.*
- 2) *fusible de expulsión.*
- 3) *fusible de vacío.*

La *Intensidad limite* es la corriente por debajo de cuyo valor, el elemento fusible ya no se funde.

17.7 Subestaciones de gas.

Bajo este nombre se designa a aquellas subestaciones cuyas partes vivas se encuentran dentro de envolventes metálicas y con un gas a presión. Son subestaciones análogas a las de tipo convencional en lo referente al equipo de alta tensión que utilizan, con la diferencia de que todas las partes y equipos que soportan tensión están contenidos dentro de envolventes metálicas que forman módulos fácilmente enchufables entre sí. Estos módulos se encuentran dentro de una atmósfera de gas seco y a presión, que en la mayoría de los casos es el hexafluoruro de azufre, que tiene la característica de reducir enormemente las distancias de aislamiento, comparativamente con las del aire, y que permite diseñar subestaciones con dimensiones mucho más reducidas.

Capítulo III

CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA GENERAL

1. Generalidades

Como se mencionó en la introducción de este trabajo de tesis, el crecimiento progresivo una institución educativa no se lleva a cabo bajo unos parámetros rígidos establecidos desde su fundación, sino que el aumento de la población escolar, con la consiguiente demanda de instalaciones adecuadas para la labor docente, hacen que se vayan haciendo poco a poco adaptaciones, compra de equipo de laboratorios, implementación de centros de cómputo, remodelaciones de oficinas, aulas, etc., iluminación en campos deportivos, estacionamientos, corredores, salones de muy diversos usos, y muchas otras mejoras que ocasionan un aumento en la carga eléctrica instalada y por consiguiente una necesidad de mejor suministro de energía.

La parte inicial de un proyecto de mejoramiento de una instalación eléctrica consiste en establecer las características generales de sus componentes y las funciones de éstas, así como la forma de alimentación actual de dicha instalación y una estimación de crecimiento de la demanda de energía eléctrica.

Las cantidades principales que están en juego en el dimensionamiento de una instalación industrial son:

- a. Carga Instalada.
- b. Alimentación de energía eléctrica por la compañía suministradora.
- c. Corrientes nominales y protecciones generales.
- d. Características de los conductores.
- e. Tierras
- f. Factor de potencia.

*La suma de potencias instaladas en una red eléctrica por lo general resulta superior a la potencia total absorbida por el sistema, esto es debido a que no todas las cargas operan simultáneamente o bajo condiciones nominales y por lo tanto hay que determinar qué porcentaje de la potencia instalada se utiliza en promedio, es decir, el problema está en determinar la potencia absorbida o demandada a partir de la potencia instalada.*³⁴

En la valoración de la potencia absorbida se toman dos criterios fundamentales:

2. Coeficiente de utilización y factor de simultaneidad.

El Coeficiente de utilización de una carga, que se define como la relación entre la potencia absorbida por una carga en condiciones determinadas de operación, y la potencia nominal de la misma carga.

El Factor de simultaneidad, que se define como la relación entre la suma de las potencias de las cargas en operación y la potencia total instalada.

La potencia máxima que demanda un grupo de cargas homogéneas, se obtiene multiplicando la suma de sus potencias nominales por el factor de simultaneidad y por el coeficiente de utilización, para tener en cuenta el hecho de que no todas las cargas están simultáneamente conectadas a la red de alimentación. El factor de simultaneidad y el coeficiente de utilización son

³⁴Enríquez Harper, EL ABC DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES, Editorial LIMUSA, México, D.F., 1985, Páginas 478-479.

menores que la unidad. Por tanto, la capacidad del transformador que alimenta las cargas conectadas se calcula como:

$$P_T = P_i * FD * FS$$

donde

- P_T = Capacidad del transformador (potencia en kW)
- P_i = Carga o potencia instalada (en kW)
- FD = Factor demanda (coeficiente de utilización, sin unidades)
- FS = Coeficiente o factor de simultaneidad (sin unidades).

Por otra parte el sistema se debe dimensionar de manera tal que siempre se tenga la posibilidad de alimentar la instalación en correspondencia con la máxima demanda.

Esto se aplica sobre todo a los elementos propios de una instalación eléctrica, que deben soportar la demanda máxima en cuanto al calibre de los conductores, a la capacidad interruptiva de los fusibles, la capacidad de los condulets, etc.

Cuando la instalación eléctrica en cuestión no se está diseñando sino que se está analizando para eficientarla, es más fácil calcular un valor representativo del factor de demanda y del factor de simultaneidad. En el caso de esta tesis, se cuenta con la demanda real de la institución y con la demanda total instalada, como se verá más adelante, por lo tanto, se puede obtener con mayor facilidad ese factor, que simplemente se llamará: factor de simultaneidad: esto se tratará más adelante.

3. Identificación de Cargas Reales. Planos utilizados.

Para la identificación de las cargas reales en la institución donde se realiza este trabajo de tesis, se recurrió en primer lugar a los planos eléctricos de dicha institución. Fue posible darse cuenta de que las modificaciones y ampliaciones de la red eléctrica habían sido tales, que casi no correspondían con los planos originales en los cuales, además, no se abarcan todas las secciones actuales de la escuela.

Por tanto, se recurrió a un nuevo *levantamiento general* de cargas con el cual se pueda hacer la identificación de las cargas reales actuales. Dicho levantamiento se llevó a cabo por una empresa especializada, que así mismo presentó los planos del proyecto del reacomodo de las cargas y tableros. Esos planos se muestran en el apéndice de esta tesis y a partir de ellos se hace la evaluación de la instalación eléctrica y las propuestas respectivas. Es lógico hacer la siguiente observación: para el análisis de la instalación eléctrica se utilizaron los planos que muestran ya el reacomodo de cargas y tableros porque, por un lado, dicho reacomodo no altera la situación actual de carga instalada total de la institución; y por otro, con el análisis de dichos planos, se está presentando a los directivos de la institución un análisis que no es repetitivo de lo que la empresa ya les presentó, sino que parte de él y propone soluciones no siempre contempladas en la propuesta ya hecha.

Además, los análisis y propuestas presentados en el capítulo IV funcionan muchas veces de modo independiente a como están distribuidos los tableros secundarios, ya que parten de una base de consumo y demanda eléctrica totales, ahorro de energía también para toda la instalación, y en general conceptos que abarcan la institución completa y no sólo algunas instalaciones eléctricas de determinados tableros.

En el apéndice se pueden encontrar tres planos a los que se recurrirá de modo continuo. Estos planos son los siguientes:

1) Plano de Alimentación de Tableros, Alumbrado Exterior y Bombas. Se llamará plano 1.

2) Plano de Alumbrado. Parte I. Que muestra el alumbrado de una zona de la institución, ya que era difícil representar toda la instalación de alumbrado en un sólo plano; se llamará plano 2.1

3) Plano de Alumbrado. Parte II. Que muestra otra zona de la institución no abarcada por el plano anterior. Se llamará plano 4.

Haciendo una *breve explicación de los planos utilizados* se pueden considerar los siguientes puntos:

En el plano 1 se muestra el conjunto de la institución educativa examinada, con la ubicación y los datos más relevantes:

Dicho plano contiene la acometida de Compañía de Luz y Fuerza del Centro, la Alimentación de Tableros y sus nombres (por ejemplo, TG01, se refiere al Tablero General de alimentación 1), Alumbrado exterior (por ejemplo, L101, que, confrontando con la simbología, se ve que es un reflector de cuarzo de 250w que se utiliza en la explanada de acceso al colegio) y bombas (hay 7 motores eléctricos, y en el plano 1 también se muestra una tabla con la cédula de los motores), así como los calibres de los conductores de alimentación de los tableros, que se muestran en forma de números pequeños paralelos al esquema de los tubos conduit. En dichos números se expresan el número de conductores de fase y su calibre, el neutro y su calibre, y a veces el diámetro del tubo conduit y el cable a tierra.

Por ejemplo: al lado del conductor que lleva al tablero TCK1 se encuentran las letras: ALK1, 2 - 8, 1 - 8N, que significan que el tubo conduit conduce al tablero K1, lleva 2 conductores del No. 8 AWG de fases, y un conductor del No. 8 AWG con el neutro del sistema.

Otro ejemplo: del tablero TBD1 sale un tubo conduit, y se encuentra que al lado dice: 4 - 12, 3 - 10, 1 - 12d, T-25, que significan que el tubo conduit lleva 4 conductores del 12 AWG, que llegarán al alumbrado externo de lámparas de 500w, 3 conductores del 10 AWG, que llegarán a los motores M5, M6, y M7 junto con 1 conductor del 12 AWG desnudo, que es el cable a tierra; por último el T-25 significa que el tubo conduit tiene un diámetro de 25 mm (1 pulg.).

También en el plano 1 se encuentra el diagrama unifilar general, en el que se puede ubicar el tablero general, cuya tensión de alimentación es de 220V - 3 fases, y los circuitos derivados de dicho tablero así como las protecciones generales y su valor.

Por último, se encuentra el diagrama unifilar de fuerza (donde se ve que la carga demandada por fuerza no es de gran peso con respecto a la carga por alumbrado) y un cuadro de cargas general, que será estudiado más adelante.

En el plano 2 se muestra el alumbrado de una parte de la instalación eléctrica: la abarcada por el colegio en la primaria, algunas oficinas como contabilidad y cubículos de profesores, y el salón de actos. Se destaca que un alto porcentaje del alumbrado está compuesto por lámparas fluorescentes, seguidas de un porcentaje menor de lámparas incandescentes (de las cuales se hará un interesante estudio del ahorro que se obtiene al cambiarlas por fluorescentes) y por último otro tipo de lámparas de cuarzo, de halógeno, etc.

En el plano 4 se muestra el alumbrado de la parte restante de la instalación eléctrica, es decir, la que abarca la preparatoria, laboratorios, secundaria y oficinas generales. Se encuentra también un alto porcentaje de lámparas fluorescentes en las aulas, seguidas de un porcentaje menor de lámparas incandescentes.

Puede llamar la atención el hecho de no encontrar un plano llamado 3, esto se debe a que en el levantamiento efectuado por la empresa contratada, este plano 3 y un plano 5 abarcan los contactos existentes en la instalación. Dichos planos no se incluyeron en el apéndice pues se no hizo un estudio más detallado de ellos (salvo la propuesta de red de tierras que se hará adelante y que puede ser analizada por medio del plano 1).

4. Balanceo de Cargas y propuestas

La identificación de cargas de toda la instalación se hizo partiendo del plano 1, en el que se muestra una tabla que contiene la carga de cada uno de los tableros.

En la tabla 3.1 se muestran el valor de las cargas de toda la instalación eléctrica agrupadas por tableros, especificando cómo se encuentran distribuidas por fases, y el gran total, así como el porcentaje de desbalance de las cargas. La distribución de las cargas por fases se obtuvo del análisis de cargas existentes realizado durante el levantamiento general.

El porcentaje de desbalance de fase se obtiene:

$$\% \text{ de desbalance} = \frac{\text{Carga mayor} - \text{carga menor}}{\text{carga mayor}} \times 100$$

Tabla 3.1
CARGAS POR FASES

Tablero	FASE A	FASE B	FASE C	W total del Tablero	% de Desbalanceo
1	TBA1 4415	4420		8835	0.11
2	TBB1 3855	3700	3725	11280	4.02
3	TBC1 12460	12955	12375	37790	4.48
4	TAC3 1000	1000		2000	0.00
5	TBD1 4930	4923	4910	14763	0.41
6	TAD2 1000	1000	1000	2000	0.00
7	TBE1 4905	5033	4865	14803	3.34
8	TBF1 10125	10263	9915	30303	3.39
9	TBG1 9476	9266	9446	28188	2.22
10	TDG2 5460	5580		11040	2.15
11	TDG3 740	550	900	2190	38.89
12	TDG4 370		5420	5790	93.17
13	TAH1		825	825	0.00
14	TBI1 9970	10055	10190	30215	2.16
15	TBJ1 3005	3105		6110	3.22
16	TCK1 2700	2880		5580	6.25
17	TAL1	1000	1000	2000	0.00
18	TBM1 1220	1230		2450	0.81
19	TBN1		4167	4167	0.00
20	TCO1 1640	1620		4520	23.17
21	TBO2 1390		1310	2700	5.76
22	TBP1		2390	2390	0.00
23	TCQ1 360	360		1080	0.00
24	TVR1 240	180	240	660	25.00
25	TBS1 1630	1600	1645	4875	2.74
total	79891	80720	75943	236,554 w	8.85
Porcentaje	33.77%	34.12%	32.10%	100%	5.92

TA = tablero de alumbrado

TB= tablero de alumbrado y contactos

TC= tablero de contactos

TD= Tablero derivado

TV= Tablero de control de ventiladores

Por ejemplo: En el tablero TBC1 que, según se indica al pie de la tabla 3.1, es tablero de alumbrado y contactos, se tienen cargas en las tres fases:

Fase A con 12460 w
Fase B con 12955 w
Fase C con 12375 w
Carga total= 37790 w

Para calcular el porcentaje de desbalance:

$$\% \text{ de desbalance} = \frac{12955 - 12375}{12955} \times 100 = 4.477\%$$

Para los tableros que no tienen carga más que en una fase (que, como se verá, no es muy conveniente en algunos casos), el porcentaje de desbalance es cero.

Del análisis de las cargas expuestas en la tabla 3.1 se pueden dar algunas propuestas:

a. Lo primero que se percibe es el hecho de que la carga total instalada sobrepasa la carga permitida por la compañía suministradora antes de requerir otro tipo de alimentación.

La carga total consumida por la institución contratante aún no pasa el límite de carga permitida para ese tipo de alimentación en baja tensión, pero se encuentra muy cerca de él, por lo tanto, habrá que tomar, cuanto antes, una decisión sobre el modo en que se resolverá este problema, pues si en uno de los próximos meses, por alguna razón contingente, se consume más carga, puede llegar un emplazamiento a un determinado número de días antes del corte del suministro eléctrico.

En el capítulo IV de esta tesis se propondrán algunas soluciones a este problema;

b. Se encontró que el porcentaje de desbalance de cargas en algunos tableros sobrepasa el permitido, que es del 5%.

La solución a este problema no es complicada, ya que sólo se requiere una reubicación de las cargas dentro de un mismo tablero para que se alimenten de otra fase.

Por ejemplo, en el tablero TBG4 las cargas que producen el desbalance son cargas de contactos eléctricos polarizados de un laboratorio de cómputo.

Se debe hacer una división de los contactos en tres grupos, de tal modo que se incorporen a tres pastillas del tablero -que son termomagnéticas-. De esta forma se está logrando un balance adecuado de las fases, de modo sencillo, sin ningún costo y sin el peligro de provocar una falla que afecte a todas las computadoras de dicho laboratorio.

Como el ejemplo anterior, es fácil hacer un análisis de los tableros que sobrepasan el 5% de desbalance y hacer un reacomodo de las cargas;

c. Se puede ver que algunos tableros que son alimentados por una sola fase superan en carga a otros que son alimentados por dos o tres fases, por ejemplo el TBN1; ahí la solución tampoco es costosa, pues dichos tableros se encuentran cerca de otros trifásicos, y se pueden alimentar de ellos como derivados, de tal modo que el balance final de las cargas sea más adecuado.

5. Cálculo y evaluación de los conductores utilizados. Protecciones generales.

Profundizando más en el análisis de las cargas de las instalaciones eléctricas de la institución se llega a un punto muy importante de análisis: el calibre necesario para los conductores utilizados.

Para el cálculo de este calibre, se siguen habitualmente dos métodos:

- el método de capacidad de corriente,
- y el método de caída de tensión.

El método de capacidad de corriente pretende ver si es suficiente el calibre de determinado conductor para la carga instalada. Este método, aunque no es muy exacto, es una buena aproximación al calibre necesario para alimentar una determinada carga. Para usarlo se necesita calcular la

corriente nominal que consume un sistema de cargas, por ejemplo, de un tablero determinado, para luego confrontar con tablas de capacidad de corriente de conductores y seleccionar el calibre adecuado.

Para el cálculo de la corriente (I_n) nominal, se utilizan las siguientes fórmulas:

$$I_n = \frac{W * \sqrt{3}}{V_f \cos \Theta}$$

Donde

W= Carga instalada en cada tablero

V_f = Voltaje de alimentación entre fases

= 220 v

$\cos \Theta$ = Factor de potencia

y, como no todos los tableros tienen alimentación con el mismo número de fases, se deben incluir en dicha fórmula algunas variaciones, según el número de fases alimentadoras:

$$\text{1 fase } I_n = \frac{W * \sqrt{3}}{220 \cos \Theta}$$

$$\text{2 fases } I_n = \frac{W * \sqrt{3}}{220 \cos \Theta * 2}$$

$$\text{3 fases } I_n = \frac{W * \sqrt{3}}{220 \cos \Theta * 3}$$

El método de caída de tensión pretende ver si, tomando en cuenta la distancia a la que se encuentra un sistema de cargas del punto de alimentación, el área (calibre) de los conductores es adecuado para que no haya un porcentaje de caída mayor a un valor normalizado.

Es importante considerar que el voltaje en las terminales de la carga es por lo general menor que el voltaje de alimentación, la diferencia de voltaje entre estos dos puntos es a lo que se le conoce como "caída de voltaje".

Las normas técnicas para instalaciones eléctricas recomiendan que la máxima caída de voltaje (desde la alimentación hasta la carga) no debe exceder al 5% dividido de la siguiente manera:

- 3% se permite a los circuitos derivados (del tablero o interruptor a la salida para utilización)
- 2% se permite al alimentador (de la alimentación al tablero principal)

Una caída de voltaje excesiva (mayor del 5%) conduce a resultados indeseables debido a que el voltaje en la carga se reduce. En las lámparas incandescentes se reduce notablemente el nivel de iluminación, en las lámparas fluorescentes se tienen problemas, como dificultad para arrancar, parpadeo, calentamiento de las balastras, etc., en el equipo de control, los relevadores pueden no operar; en los motores la reducción de voltaje se traduce en un incremento en la corriente, lo cual produce sobrecalentamiento y algunas veces causa problemas de arranque, por esta razón no es suficiente calcular los conductores por corriente, es decir, seleccionar el calibre de un conductor de acuerdo con la corriente que circulará por él. También es necesario que la caída de voltaje en el conductor no exceda los valores establecidos por el reglamento de Obras e Instalaciones eléctricas (que son 2% caída de voltaje en instalaciones residenciales y un máximo de 5% en instalaciones industriales, desde el punto de alimentación hasta el último punto).

Para el cálculo del calibre en mm^2 se tomó en cuenta una supuesta caída de voltaje del 3%, por lo ya explicado en los párrafos anteriores y se utilizó la fórmula que a continuación se obtendrá:

Partiendo de que todo conductor eléctrico metálico tiene una resistencia al paso de la corriente, se puede formular esta resistencia como dependiente de la resistividad del metal y de las características dimensionales del conductor:

$$R = \frac{\rho L}{s}$$

donde

R = resistencia de un conductor en ohms

ρ = resistividad del cobre (aprox. $1/50 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

L = longitud del conductor (m)

s = sección transversal en mm^2

La caída de voltaje por resistencia en un conductor es:

$$\begin{aligned} E &= 2 R I && \text{para sistema monofásico} \\ E &= \sqrt{3} R I && \text{para sistema trifásico a cuatro hilos} \end{aligned}$$

Expresando la caída de voltaje en %:

$$\text{sist. monof. } E \% = \frac{E \times 100}{V_N} = \frac{2 L I \times 100}{50 s \times V_N} = \frac{4 L I}{s \times V_N}$$

$$\text{sist. trifásico } E \% = \frac{E \times 100}{V_F} = \frac{\sqrt{3} L I_n \times 100}{50 s \times V_F} = \frac{2 L I_n}{s \times V_N}$$

estas fórmulas se utilizaron para calcular la columna e% de la tabla 3.2 como se ejemplificará más adelante.

Para calcular el calibre de los conductores alimentadores de cada tablero, de las fórmulas anteriores se despeja s (que se llamará calibre en mm^2):

$$\text{calibre } \text{mm}^2 = \frac{4 * L * I_n * \sqrt{3}}{220 * e\%}$$

tableros 1 fase

$$\text{calibre } \text{mm}^2 = \frac{2 * L * I_n * \sqrt{3}}{220 * e\%}$$

tableros 2-3 fases

Donde,

L = distancia en mts del tablero principal al Tablero secundario

I_n = corriente nominal suministrada al tablero, por conductor.

$e\%$ = caída de voltaje, se supuso 3% por ser lo máximo permitido.

En nuestro caso, la instalación tiene un sistema general de alimentación trifásico a cuatro hilos, (aunque algunos tableros no tengan esas tres fases) por lo que se utilizó la fórmula correspondiente, aunque, para los tableros alimentados por una sola fase, se utilizó la fórmula de monofásicos, que aumenta el factor de seguridad si se llegara a disponer de más fases en dichos tableros.

El cálculo del calibre de los conductores se hizo por los dos métodos: por capacidad de conducción de corriente (I_n) y por caída de tensión o $e\%$, y los datos obtenidos, como ya se mencionó, se concentraron en la tabla 3.2, que a continuación se explica:

En las primeras columnas se encuentran los nombres de todos los tableros y motores instalados, la carga instalada en cada uno, el número de fases que alimenta cada tablero o motor, y el cálculo de la corriente nominal I_n , obtenido según las fórmulas expuestas anteriormente. La columna de longitud se sacó con las mediciones que se hicieron en el levantamiento general y se pueden observar, a escala, en el plano 1.

En la columna titulada cálculo del calibre mm^2 se encuentra el dato del calibre requerido para la carga instalada y la corriente nominal de cada tablero, calculado según las fórmulas expuestas más arriba.

En una de las columnas de dicha tabla se encuentra el calibre real actual de los conductores, que en general se encontró adecuado a los requerimientos de la instalación; la columna se titula calibre AWG. El área de estos calibres, que se muestra en otra columna, se obtuvo de tablas del manual técnico de cables de energía, citado en la bibliografía.

La capacidad de corriente de los cables de determinado calibre, que se muestra en la columna titulada "capacidad de I, AWG" está tomada de tablas.³⁵

³⁵ Enríquez Harper, EL ABC DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES, Editorial LIMUSA, México, D.F., 1985, Páginas 162-163

En la columna titulada e% se calcula la caída de voltaje para cada tablero de todo el sistema de la institución.

Y, por último, se expone una columna en la que se propone una protección de interruptor adecuado a cada demanda de corriente, y otra con el calibre del cable a tierra, del que se hablará en el n. 6.

A continuación se muestran algunos ejemplos significativos de cómo se calcularon dichas corrientes.

Tablero TBA1: datos del levantamiento: carga 8835w. Fases 2.

$$I_n = \frac{8835 * \sqrt{3}}{220 (0.98) * 2} = 35.49 \text{ amp}$$

el factor de potencia de 0.98 es el que tiene la institución en su consumo mensual, según el promedio obtenido de datos tomados de su facturación por la compañía suministradora. Ya que el TBA1 se encuentra a 6 mts del alimentador principal, se puede calcular el calibre en mm² que requeriría el conductor para no tener una caída de voltaje de más de 3%:

$$\text{calibre mm}^2 = \frac{2 * 6 * 35.49 * \sqrt{3}}{220 * 3} = 1.12 \text{ mm}^2$$

tableros 2 fases

Por otro lado, se sabe que ese tablero está alimentado por medio de cables del # 8 AWG que tienen una capacidad de corriente de 40 amp y un área de 8.37 mm², por lo que es posible concluir que por el método de capacidad de corriente, el calibre usado actualmente es adecuado, y por el método de caída de tensión, también. Esto se expone en las siguientes columnas de la tabla 3.2

Ahora se calcula cuál es la verdadera caída de tensión, tomando como área del conductor 8.37 mm²:

$$E \% = \frac{2 * 6 * 35.49}{8.37 * 127} = 0.40$$

que es mucho menor del 3% permitido, lo cual viene indicando que el calibre de alimentación a ese tablero es adecuado.

Por último, se recomienda como protección para este tablero interruptores termomagnéticos con capacidad de 40 amp, un poco arriba de la corriente nominal de este tablero.

Tablero TBD1: datos del levantamiento: carga 14763w. Fases 3.

$$I_n = \frac{14763 * \sqrt{3}}{220 (0.98) * 3} = 39.53 \text{ amp}$$

ya que el TBD1 se encuentra a 85 mts del alimentador principal, se puede calcular el calibre en mm² que requeriría el conductor para no tener una caída de voltaje de más de 3%:

$$\text{calibre mm}^2 = \frac{2 * 85 * 39.53 * \sqrt{3}}{220 * 3} = 17.64 \text{ mm}^2$$

tableros 3 fases

Por otro lado, se sabe que ese tablero está alimentado por medio de cables del # 8 AWG que tienen una capacidad de corriente de 32 amp (es menor que en el ejemplo anterior ya que viajan más cables en un sólo conduit y así se deja un pequeño factor de seguridad) y un área de 8.37 mm², por lo que es posible concluir que por el método de capacidad de corriente, el calibre usado actualmente no es adecuado, y por el método de caída de tensión, tampoco. Esto se expone en las siguientes columnas de la tabla 3.2

Ahora se calcula cuál es la verdadera caída de tensión, tomando como área del conductor 8.37 mm²:

$$E \% = \frac{2 * 85 * 39.53 * \sqrt{3}}{8.37 * 220} = 6.32$$

que es mayor del 3% permitido, por lo cual es necesario pensar en alguna solución como aumentar el calibre de los conductores o pasar algunas cargas de ese tablero hacia otro.

Por último, se recomienda como protección para este tablero interruptores termomagnéticos con capacidad de 50 amp, un poco arriba de la corriente nominal de este tablero.

Tablero TBG4: datos del levantamiento: carga 5790 w. Fases 1.

$$I_n = \frac{5790 * \sqrt{3}}{220 (0.98)} = 46.51 \text{ amp}$$

ya que el TBG4 se encuentra a 31 mts del alimentador principal, se puede calcular el calibre en mm² que requeriría el conductor para no tener una caída de voltaje de más de 3%:

$$\text{calibre mm}^2 = \frac{4 * 31 * 46.51 * \sqrt{3}}{220 * 3} = 15.14 \text{ mm}^2$$

tableros 1 fase

Por otro lado, se sabe que ese tablero está alimentado por medio de cables del # 10 AWG que tienen una capacidad de corriente de 30 amp y un área de 5.26 mm², por lo que es posible concluir que por el método de capacidad de corriente, el calibre usado actualmente no es adecuado, y por el método de caída de tensión, tampoco. Esto se expone en las siguientes columnas de la tabla 3.2

Ahora se calcula cuál es la verdadera caída de tensión, tomando como área del conductor 5.26 mm²:

$$E\% = \frac{4 * 31 * 46.51 * \sqrt{3}}{5.26 * 220} = 4.32$$

que es mayor del 3% permitido, por lo cual es necesario pensar en alguna solución como aumentar el calibre de los conductores o hacer que el tablero sea alimentado por dos o tres fases, ya que no tiene ningún sentido que solo tenga alimentación de una fase.

Por último, se recomienda como protección para este tablero, por el momento, interruptor termomagnético con capacidad de 50 amp, un poco arriba de la corriente nominal de este tablero.

Se piensa que con estos tres ejemplos es suficiente para mostrar el modo en que se procedió a calcular los conductores y protecciones necesarias para toda la instalación eléctrica.

Sólo hay que añadir que, en los motores, se tomó como corriente nominal el valor dado en tablas³⁶ para la capacidad de cada motor, y que las protecciones se proponen de una magnitud mucho mayor tomando en cuenta la corriente de arranque demandada por los motores y las características de operación de los interruptores termomagnéticos. En general, por caída de tensión, se encontró que los motores deberían estar alimentados con calibre un poco mayor (en el calibre siguiente, por ejemplo) a como están en plano I.

En cuanto a los diámetros de los tubos conduit que albergan los conductores, según se muestra en el plano I, su calibre viene indicado con las siglas T y el diámetro en mm. Algunos diámetros de tubos conduit utilizados comúnmente en instalaciones residenciales e industriales son:

diámetro nominal		diámetro interior	área interior
mm	pulg	mm	mm ²
13	½	15.81	196
19	¾	21.30	356
25	1	26.50	552
32	1 ¼	35.31	979

Algunos diámetros y áreas de tubos conduit

Así que, por ejemplo, saliendo del tablero TBD1 se encuentran las siglas 4-12, 1-12d y T-19, que indican que ese tubo conduit, que irá a alimentar cargas de iluminación, conduce 4 conductores AWG del número 12 y 1 conductor del 12 desnudo, para tierras. El área que ocupan dichos conductores dentro del tubo, ya que el calibre 12 con cubierta THW tiene 16.23 mm² y desnudo tiene un área de 3.32mm², es:

$$\begin{aligned} \text{Área ocupada} &= 16.23 * 4 + 3.32 = 68.24 \text{ mm}^2 \\ &\text{por conductores} \end{aligned}$$

³⁶ Idem, página 262-265.

$$\text{Área del conduit} = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 21.30^2}{4} = 356.32 \text{ mm}^2$$

$$\text{Porcentaje} = \frac{68.24}{356.32} = 19.15 \%$$

Luego, el porcentaje de área que ocupan está muy por debajo de lo recomendado (40% de ocupación total del conduit), por lo que dichos tubos pueden seguirse empleando en un futuro para albergar mayor número.

Otro ejemplo, en el tablero TBD1 sale otra ramificación con las siguientes especificaciones: 4-12, 3-10, 1-12d, en una tubería conduit de diámetro 25 mm. El área que ocupan, si el calibre 10 tiene 20.06 mm² con cubierta THW, y el 12 ya se especificó anteriormente, es:

$$\text{Área ocupada por conductores} = 20.06 * 3 + 16.23 * 4 + 3.32 = 128.42 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área del conduit} = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 26.50^2}{4} = 551.54 \text{ mm}^2$$

$$\text{Porcentaje} = \frac{128.42}{551.54} = 23.28 \%$$

Que también es un porcentaje por debajo del requerido.

En general se puede observar que los tubos conduit con los que cuenta actualmente las instalaciones eléctricas no es necesario suplirlos, ni siquiera con vistas a un crecimiento razonable de la instalación, pues estuvieron bien calculados y previstos para dicho crecimiento.

Del análisis de corrientes y conductores se pueden sacar algunas propuestas:

a. Protecciones generales: lo primero que hay que destacar es que los tableros secundarios carecen actualmente de protección general, lo cual va en contra de lo normalizado por la NOM.

Es por ello que se propone como algo urgente el proveer a todos los tableros de protecciones adecuadas a la corriente que demandan. En la tabla 3.2 se incluyó una columna con la propuesta de protecciones adecuadas.

Para habilitar estas protecciones se deberá instalar junto al tablero principal un tablero de protecciones generales, que tenga las protecciones de los tableros secundarios y posibilidades de crecimiento. Se requiere de la instalación de un gabinete adecuado para dicha función, y hacer que todos los conductores de salida del alimentador principal vayan primero al tablero de protecciones. Es una inversión imprescindible pues de otro modo la instalación tiene riesgos de cortos e incluso de incendios;

b. Es necesario hacer una revisión cuidadosa de los interruptores que protegen las salidas de los tableros secundarios a las cargas, para ver si son adecuadas a la demanda de corriente, por lo siguiente:

- Cuando los interruptores tienen un límite de corriente muy superior a la corriente nominal de dicho tablero, se corre el peligro de que, ante un corto circuito, tarde demasiado en hacer la interrupción con el consiguiente daño de los aparatos, sobre todo los electrónicos.
- Cuando los interruptores está muy justas, de tal modo que su límite de corriente de interrupción es casi el mismo que la corriente habitual de consumo, se corre el peligro de llegar con frecuencia a dicho límite, provocando la interrupción de corriente con el consiguiente paro del proceso que la requería;

c. Del análisis del calibre de los conductores, se encontró que, por corrientes, casi todos los conductores son adecuados a los requerimientos, pero por caídas de voltaje hay algunos que no son los adecuados, sobre todo por la distancia entre el alimentador y la carga.

Para la solución de este problema se puede: o hacer el cambio de cableado, buscar un tablero cercano, poco cargado, para aliviar las cargas del primero, o buscar aumentar las fases de trabajo en dicho tablero, en el caso de que sea alimentado sólo por una o dos fases;

d. Al poner solución al calibre de los conductores, se está poniendo solución también al alto e% que se encuentra en algunos tableros, tratando de ajustarlo, como ya se mencionó, al 5% permitido.

6. Sistemas de tierra

Como se explicó en el capítulo anterior, un sistema de tierras es indispensable para toda instalación eléctrica, cuanto más si lo que se pone en juego es la seguridad de las personas y del equipo instalado, sobre todo equipo electrónico; es por ello que en una institución educativa, donde se cuenta con laboratorios de cómputo, con laboratorios experimentales, y por el número de personas que utilizan dichos equipos, el sistema de tierras juega un papel muy importante.

En la instalación eléctrica analizada se encuentra con que:

a. Los 3 laboratorios de cómputo que operan en la institución, así como los laboratorios experimentales controlados por los tableros TBDG1,2,3 y 4 sí cuentan con red de tierra física cada uno;

b. Las zonas restantes de la institución no cuentan con red de tierras, por lo que se propone la instalación de una red, extendida sobre todo a aquellos sitios que necesitan contactos polarizados, por ejemplo, la zona de recepción (que maneja alrededor de 10 computadoras), la zona de contabilidad (que maneja aproximadamente 7 computadoras), la zona de salón de actos (donde muchas veces se utilizan aparatos electrónicos), y en general en la zona de cubículos de profesores, sobre todo de preparatoria, ya que cada vez es más extendido el uso de computadoras.

El costo de la instalación de red de tierras no es elevado, y reditúa en el aumento de seguridad del equipo. También se vio conveniente la instalación de pararrayos en puntos estratégicos del inmueble, para protección de los alumnos.

A continuación se hace un pequeño cálculo y sugerencias para dicha red de tierras:

En primer lugar, en cuanto a la selección del material de tierra, es importante que sea de alta conductividad, por lo cual se propone utilizar varillas de cobre pues, aunque el acero se encuentra más disponible en el mercado y puede ser más barato que el cobre, tiene la desventaja de estar más sujeto a la corrosión.

En cuanto al calibre del conductor utilizado como electrodo de tierra, se recomienda que, ya que el calibre de la acometida o alimentación principal está por arriba del 4/0, se recomienda que el calibre del electrodo no sea menor del 1/0, o sea, de 8.25 mm de diámetro. Es más se sugiere, por ser práctica común en subestaciones de distribución secundaria, que se utilice como electrodo una varilla copperweld de 5/8 de pulgada³⁷. Se recomienda que dicho electrodo se coloque cerca del tablero general de alimentación, de donde también partirá el sistema de cables de tierra a todos los tableros y, como ya se cuenta actualmente con sistemas de tierras separados en los laboratorios de cómputo, unificarlos por medio de los conductores para tener así más electrodos en puntos distribuidos dentro del área de la institución.

El calibre de los conductores para puesta a tierra de equipos en general, se escoge en función de la capacidad nominal o ajuste del dispositivo de protección contra sobrecorriente ubicado antes del equipo conductor, y se sugieren los siguientes calibres:

capacidad nominal del dispositivo de protección antes del conductor no mayor de (amperes)	calibre del conductor de puesta a tierra (AWG)
15	14
20	14
30	12
40	10
60	10
100	8

Así, por ejemplo, de la tabla 3.2 se puede ver que la protección que se propone para el TBP1 es de capacidad nominal de 30 amp. Por lo tanto, el

³⁷ Enríquez Harper, ELEMENTOS DE DISEÑO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS, Editorial LIMUSA, México, D.F., 1993, Página 517

calibre del conductor de puesta a tierra se recomienda que sea de 14 AWG y en el plano 1 se representa como 1-14d (1 conductor AWG 14, desnudo).

En la última columna de la tabla 3.2 se especifica el calibre de tierras propuesto para cada tablero, así se podrá tener un sistema general de tierra.

7. Factor de potencia

En el análisis de una instalación eléctrica no se puede dejar del lado el factor de potencia. Como se explicó, este factor agrupa la relación existente entre la carga resistiva y la carga reactiva, y tiene un peso particular en aquellas instalaciones eléctricas destinadas al suministro de energía a motores.

Ya que la instalación eléctrica estudiada no presenta como característica fundamental el uso de sistemas de fuerza, se hizo un breve análisis para ver lo significativo del factor de potencia de los motores instalados contra el conjunto de cargas del sistema general.

Se obtuvieron los siguientes datos:

a. Ya que el factor de potencia (f.p.) máximo permitido es 0.90, se consideró el f.p. de los motores utilizados para ver la potencia reactiva de la instalación demandada por ellos y compararlo con la potencia real.

b. Como se puede observar de la tabla 3.3, el factor de potencia que provoca la carga reactiva de los motores, no es tan significativo que provoque un aumento del f.p. total por arriba de lo permitido, por la poca cantidad de potencia reactiva demandada comparada con la cantidad de potencia real instalada. Esto lleva a proponer que se puede hacer el estudio y propuestas de mejora de la instalación sin temor a que los sistemas de fuerza alteren el f.p. total haciendo necesario la instalación de bancos de capacitores, motores de inducción, etc., para corregirlo;

c. De hecho, en la facturación mensual de la compañía suministradora, se reporta la potencia reactiva demandada en KVARH (kilovolts-amperes

tabla 3.3
Factor de Potencia

motor	potencia activa absorbida, w	f.p. (de tablas)	potencia reactiva, vars
M1	6600	85%	4090
M2	6600	85%	4090
M3	800	80%	600
M4	800	80%	600
M5	800	80%	600
M6	800	80%	600
M7	1300	86%	771
total	17700		11352

Potencia total reactiva por motores	11352 vars
Potencia total real instalada	254254 w

Datos tomados de facturación
para sacar promedio mensual de factor de potencia

mes	kwh	kvarh	f.p.
1	11700	3668	95.4%
2	23460	1973	99.6%
3	21420	3426	98.7%
4	19500	3703	98.2%
5	19620	4118	97.9%
6	20340	3806	98.3%
7	17880	2907	98.7%
8	14280	2630	98.3%
promedio	18525	3278.875	

f.p. promedio mensual 98.47%

reactivos-hora), como se puede ver también en la tabla 3.3. El factor de potencia se puede calcular del siguiente modo:

Del triángulo de potencia (capítulo I) se sabe que el factor de potencia es el $\cos \theta$ donde:

$$\cos \theta = \frac{P \text{ (potencia real KW)}}{S \text{ (potencia aparente KVA)}}$$

como se tienen los datos de P y Q (potencia reactiva), se utiliza la fórmula:

$$\text{f.p.} = \cos (\tan^{-1} (P / Q))$$

y se ve que el factor de potencia promedio en la instalación eléctrica es 98%. De hecho habitualmente se tiene una bonificación por factor de potencia mayor al 90%, lo que confirma nuestra postura de que no es un problema que requiera rediseño en esta instalación.

Capítulo IV

OPTIMIZACION Y MEJORAMIENTO DE LA INSTALACION ELÉCTRICA

I. ANÁLISIS DE COSTOS ACTUALES

Los costos de suministro de energía eléctrica no pocas veces ocupan un porcentaje importante de los costos de operación de una industria de transformación y de servicios.

En el caso de una institución educativa como la estudiada en este trabajo de tesis, los costos de energía son algo digno de considerarse y de estudiar el modo de reducirlos lo más posible, aunque se pudiera pensar que el suministro de energía poco tiene que ver con la principal tarea de dicha institución: la educación.

Un objetivo importante en la optimización de una instalación eléctrica es precisamente la reducción de sus costos de operación, por lo cual, no se puede dejar de hacer un pequeño análisis de los costos actuales del suministro eléctrico para el uso de la institución.

En la tabla 4.0 se pueden ver los principales costos de energía para la institución.

II. ALUMBRADO. EFICIENCIA

1. Ahorro de energía en iluminación.

Los sistemas de iluminación se caracterizan por la baja eficiencia en la conversión de potencia eléctrica en luz visible. Si se habla de eficiencia de una lámpara incandescente en luminosidad contra potencia, se obtiene un valor de sólo 20%, mientras que en una lámpara fluorescente llega al 65%. El resto de la energía se disipa en forma de calor, u otro tipo de energía.³⁵

En base a un buen diseño de iluminación se pueden reducir el número y las dimensiones de los luminarios, el número y diámetro de los conductores, el diámetro de los tubos conduit que los albergan, y hasta la capacidad de las protecciones de un sistema.

³⁵ cfr. Torrijos Elorriaga, Roberto; op.cit., pág. 55.

TABLA 4.0

COSTOS POR SUMINISTRO DE ENERGÍA

	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
DEMANDA (KW)	94	98	104	95	74	75
CONSUMO (KWH)	21420	19500	19620	20340	17880	14280
FACTURACION NOMINAL	9558	10955	11802	11408.8	9996.05	8690
AJUSTES PRECIO COMBUSTIBL	575	736.85	945	930.5	839	721
BONIFICACIÓN F.P. <90%	-223	-245	-255	-259	-238	-197
MANTENIMIENTO	11	13	13	13	14	13
IVA	992.1	1145.985	1875.75	1813.995	1591.6575	1384.05
TOTAL A PAGAR	10913.1	12605.835	14380.75	13907.295	12202.7075	10611.05

PROMEDIO DE DEMANDA 90 KW
 PROMEDIO MENSUAL DE CONSUMO 18840 KW H

TOTAL A PAGAR MENSUAL (PROMEDIO) N\$ 12437

FACTOR DE UTILIZACIÓN CONTRA 35%
 CARGA INSTALADA

2. Ahorro por tipo de lámparas

La *eficiencia de las lámparas* se mide en lúmenes por watt. Con la instalación de lámparas más eficientes se puede lograr un ahorro de energía de hasta el 75%, contando con la misma cantidad de luz recibida y durando hasta 10 veces más que otras lámparas convencionales.

Un caso concreto es la sustitución de lámparas incandescentes con lámparas fluorescentes compactas, que pueden ser autobalastadas y con los mismos casquillos que las de un foco normal. (Ver tabla 4.1)

3. Ahorro por tipo de luminario

La cantidad de luz transmitida en un espacio y una dirección determinada dependen de la lámpara y la eficiencia del luminario. En relación a la eficiencia del luminario, es importante que el material seleccionado como difusor sea tal, que presente el máximo grado de dispersión de luz junto con una mínima absorción.

La utilización del luminario parabólico permite un control preciso de luz manteniendo en un 90% su eficiencia. El luminario está construido en base a una estructura parabólica hecho de aluminio anodizado de baja iridiscencia* y con un alto factor de reflexión especular. Se utiliza en zonas donde se requiera un nivel bajo deslumbramiento y sustituye, en la mayoría de los casos, al luminario acrílico traslúcido del tipo prismático. Este último tiene una buena dispersión de luz aunque su principal desventaja reside en la absorción aproximada del 15% del flujo luminoso provocado por el tipo de material del que está hecho el difusor de plástico.³⁶

4. Balastros más eficientes

³⁶ *idem*. Pág. 56.

Tabla 4.1
Lámparas incandescentes y lámparas fluorescentes compactas*

	CONSUMO watts	FLUJO LUMINOSO lm	EFICIENCIA lm/w	VIDA hrs.	INCREMENTO DEL FLUJO	REDUCCIÓN DE WATTS	AHORRO DE ENERGIA
■	25	260	10	1000			
□	9	400	44	10000	53.85%	16 w	64.00%
■	40	490	12	1000			
□	11	600	55	10000	22.45%	29 w	72.50%
■	60	820	14	1000			
□	15	900	60	10000	9.76%	45 w	75.00%
□	17	950	56	10000	15.85%	43 w	71.67%
■	75	1070	14	1000			
□	18	1100	61	10000	2.80%	57 w	76.00%
□	20	1200	60	10000	12.15%	55 w	73.33%
■	100	1560	16	1000			
□	23	1550	67	10000	-0.64%	77 w	77.00%

■ Lámpara incandescente
□ Lámpara fluorescente compacta

* Cfr. Torrijos Elorriaga, Roberto, op. cit., pág 55.

Se puede disminuir el consumo de energía eléctrica con la instalación de balastos ahorradores de energía.

El balastro electromagnético ahorrador de energía proporciona ahorros de hasta un 15%. Tiene las mismas dimensiones, se instalan y conectan igual que los balastos tradicionales.

También el balastro electrónico hace un ahorro significativo de energía eléctrica. (Ver Tabla 4.2)

tabla 4.2

Consumo de potencia por balastos*

TIPO	LAMPARA 2 x sistema	BALASTRO	CONSUMO POR SISTEMA
A. Rápido	40w T12	Electromagnético convencional	96 W
		Electromagnético ahorrador de energía	86 W
		Electrónico	72 W
	34 W T12	Electromagnético convencional	82 w
		Electromagnético ahorrador de energía	72 w
		Electrónico	60 w
	32 W T8	Electrónico	58 w
A. Instantáneo	75 W T12	Electromagnético convencional	173 w
		Electromagnético ahorrador de energía	153 w
	60 W T12	Electromagnético convencional	140 w
		Electromagnético ahorrador de energía	125 w
	39 W T12	Electromagnético ahorrador de energía	102 w

* Cfr. Torrijos Elorriaga, Roberto, op. cit., pág. 57.

5. Propuesta de ahorro por Iluminación

En el capítulo III de este trabajo de tesis, se hizo un análisis de las cargas eléctricas de la instalación para poder así hacer su evaluación o mejoramiento en economía y rendimiento. En el plano 2 y 4 se pueden encontrar los diagramas de las cargas de alumbrado de toda la institución.

Se encontró que la mayor parte de energía eléctrica consumida se utiliza en cargas de iluminación, lo cual resulta lógico por el tipo de actividad que se realiza, es decir, actividad educativa.

Ya que la iluminación es un factor que se presta fácilmente para el diseño y la continua búsqueda de ahorro, se proponen a continuación unas modificaciones, así como el análisis del ahorro que supone.

1) Reemplazo de lámparas incandescentes por fluorescentes compactas.

Como se mencionó anteriormente, la sustitución de lámparas incandescentes, que se caracterizan por su alto consumo de energía en forma de calor y bajo rendimiento en luminosidad, por lámparas fluorescentes, nos proporcionan un ahorro significativo de energía.

En la tabla 4.3 se presenta el análisis del consumo de energía por lámparas incandescentes en la institución estudiada.

Por ejemplo, en el tablero TBA1 se alimentan cargas diversas entre las que se encuentran 16 lámparas incandescentes de 75W. Estas lámparas tienen, por lo tanto un consumo de:

$$\text{Consumo en watts} = 75 \times 16 = 1200 \text{ w}$$

ya que la tarifa de cobro por consumo es de 0.3044, el costo de dicho sistema de lámparas en un período de 1000 hrs es de:

$$\text{Costo por consumo en watts} = 1.2 \text{ kw} \times 0.3044 \text{ kw/hr} \times 1000 \text{ hrs} = \text{N\$ } 365.3$$

Si esas mismas lámparas, se sustituyen por otras 16 lámparas fluorescentes de 20W, que dan un flujo luminoso mayor que las fluorescentes, mayor eficiencia también, y 10 veces más horas de vida, se tiene que:

$$\text{Consumo en watts} = 20 \times 16 = 320 \text{ w}$$

ya que la tarifa de cobro por consumo es de 0.3044, el costo de dicho sistema de lámparas en el mismo periodo de 1000 hrs es de:

$$\text{Costo por consumo en watts} = 0.32 \text{ kw} \times 0.3044 \text{ kw/hr} \times 1000 \text{ hrs} = \text{N\$ } 97.4$$

luego, se concluye que el ahorro de energía y costos por dicha sustitución es de 73.33%, que desde luego resulta muy atractivo.

El período de 1000 hrs que se utilizó para el cálculo del ahorro es significativo, pues representa el promedio de vida de las lámparas incandescentes.

Del análisis de esta tabla se puede concluir lo siguiente:

a. Ya que la tendencia actual de la industria mexicana es la del estudio de optimización de sus recursos, es importante que en la institución estudiada en este trabajo de tesis, se cobre más conciencia de las posibilidades que se

tienen de ahorro de energía eléctrica y, por lo tanto, la reducción de sus costos.

Como se puede ver en la tabla 4.3, por la sola sustitución de lámparas incandescentes de 75 w (potencia más común) por lámparas fluorescentes compactas que proporcionen un flujo luminoso equivalente -como se muestra en la tabla 4.1- se llega a tener un ahorro del 73.3% de energía eléctrica en todo el sistema de la instalación;

b. Es significativo calcular el ahorro que se obtiene por la mencionada sustitución de lámparas, ya que el cobro en la facturación de la energía se compone de dos partes: la primera, es la cantidad de energía consumida, en KWH, y la segunda, la demanda contratada y utilizada.

Debido al consumo reducido de energía (en KWH) que se obtiene con lámparas más eficientes se obtiene un ahorro en energía consumida y en energía demandada, al haber menos carga.

c. Para hacer más atractiva la idea de sustituir los sistemas de iluminación actual por lámparas fluorescentes, se hizo un cálculo de en cuántos períodos de 1000 horas el ahorro acumulado por la sustitución de lámparas repondría la inversión debida a la compra de esas nuevas lámparas, y se llegó a la conclusión de que en 3000 hrs se recupera dicha inversión.

Esto hace ver la importancia de la planeación y el cálculo de una inversión que después reeditarán en un ahorro, pues al pensar que dicha inversión "se pagará por sí sola", se tienen elementos para decidir si conviene o no hacerla.

Además del ahorro de energía, hay que tomar en cuenta que las lámparas propuestas tienen una vida diez veces más larga que la de las lámparas incandescentes, por lo que también de ahí se reducen los costos.

tabla 4.3

COSTO ILUMINACION

	Tablero	número de lámparas	consumo en watts l.incand.75w	costo por consumo: .3044 kw/hr x 1000 hrs.	equivalente consumo en watts l. fluor. 20w	costo por consumo: .3044 kw/hr x 1000 hrs.	(Ahorro) reducción de watts
1	TBA1	16	1200	365.28	320	97.408	880
2	TBB1	18	1350	410.94	360	109.584	990
3	TBC1	101	7575	2305.83	2020	614.888	5555
4	TBD1	18	1350	410.94	360	109.584	990
5	TBE1	63	4725	1438.29	1260	383.544	3465
6	TBF1	29	2175	662.07	580	176.552	1595
7	TBG1	7	525	159.81	140	42.616	385
8	TAH1	3	225	68.49	60	18.264	165
9	TBI1	39	2925	890.37	780	237.432	2145
10	TBJ1	3	225	68.49	60	18.264	165
11	TBM1	11	825	251.13	220	66.968	605
12	TBN1	4	300	91.32	80	24.352	220
13	TBS1	7	525	159.81	140	42.616	385
	total	319	23925	7282.77	6380	1942.072	17545

Ahorro energía 73.33%

costo prom.(x lamp's. incand.) N\$ 23
 costo prom.(x lamp's. fluor.) N\$ 6
 Ahorro por consumo N\$ 17

costo lamp.fluor.nueva N\$ 65
 costo por cambiar 319 lamps. N\$ 20735

De todo el sistema:
 horro por consumo c/1000 hrs. N\$ 5341
 horro por demanda c/1000 hrs. N\$ 1074
 Ahorro total **N\$ 6415**

tpo. de reposición total 3000 hrs.
 s/inversión

2) Luminarios y balastros más eficientes.

Ya que casi todos los salones de clases son iluminados por varios juegos de lámparas fluorescentes de 2 x 74 watts, se cuestionó si la utilización de dichas fuentes de luz podría hacerse de modo más eficaz, ya que no se pueden sustituir por otros más eficientes.

Se proponen algunas mejoras:

a. Si no se puede hacer una inversión inicial fuerte, para cambiar todos los balastros y luminarios de todos los salones por otros más eficientes, ir haciendo la sustitución de éstos poco a poco, teniendo en bodega de mantenimiento los nuevos elementos;

b. Los luminarios que actualmente se tienen en los salones son del tipo de acrílico prismático, dentro de un gabinete metálico que, además de impedir la difusión de luz a 180°, almacena mucho el calor.

Se propone cambiar los luminarios y gabinetes actuales por luminarios parabólicos de aluminio ionizado, con los cuales se hace más eficiente la distribución de luz y hay menores pérdidas;

c. Se propone estudiar la distribución actual de las lámparas dentro de cada salón, que habitualmente son de tres parejas paralelas entre sí. Si se separan las parejas y se distribuyen más adecuadamente, se pueden reducir de 12 lámparas en promedio por salón a 8 o 10 según el tamaño, con el consiguiente ahorro de energía y costos;

d. Si se coloca en cada salón dos lámparas de halógeno de bajo voltaje para alumbrado del pizarrón, se pueden quitar hasta 4 lámparas fluorescentes y ahorrar energía, ya que muchas veces se encienden todas las lámparas con el único objetivo de obtener mayor luminosidad para el pizarrón. Además que la apariencia de estas lámparas es buena y hasta elegante.

3) Integración de Luz natural y luz artificial en los diseños futuros.

Ya que, como se hablará más adelante, se tienen proyectos futuros para ampliación y remodelación del colegio y la Universidad, se deberá tomar en cuenta el ahorro importante de dinero que implica un buen diseño de iluminación. Este es significativo cuando:

a. Se proyectan espacios pensando en su iluminación por medio de luz natural durante la mayor parte del día, de tal modo que sólo durante la tarde y noche se deban encender luces.

b. Se valora la luz natural como el mejor elemento de contacto visual con el mundo exterior.

III. PROPUESTA DE UNA SUBESTACION O DIVISION DE CARGAS

Del mencionado estudio de cargas del capítulo III, se observa que el valor de la carga total instalada, que es de 250 kw aproximadamente, sobrepasa el límite permitido por la compañía suministradora para abastecimiento por baja tensión.

A continuación se explican dos caminos de solución a dicho problema y la valoración de dichos caminos.

1. Instalación de una subestación eléctrica

A partir de 100 kw de carga demandada, la suministradora de energía eléctrica pide la instalación de una subestación que sea alimentada en alta tensión.

Dicha instalación puede hacerla el propietario del inmueble, quien desde luego será el dueño de la subestación y la compañía suministradora solamente entrega a la tensión pedida; o bien, la compañía suministradora instala una subestación para rentarla al contratante, que de este modo evita una inversión fuerte pero debe mantener el pago de dicha renta.

Los puntos a favor de incorporar una subestación eléctrica a la instalación estudiada son los siguientes:

- Estar de acuerdo con la reglamentación de la compañía suministradora que, por otro lado, en cuanto se rebase el máximo de carga permitido podría hacer una orden de mejoramiento con el posible plazo a suspensión de servicio.
- El porcentaje de problemas de suministro es mayor cuando se recibe alimentación en baja tensión, que cuando se recibe en alta tensión; esto se debe principalmente a que es más alta la posibilidad de fallas en un sistema de cargas de distintos clientes alimentadas por un sólo transformador de la vía pública, que un sistema alimentado en alta tensión, que ha sido previamente estudiado y equilibrado, y que es fácil prevenir sobrecargas o cortos circuitos.
- La plataforma de crecimiento a futuro que ofrece una subestación eléctrica permite la planeación adecuada de las cargas futuras, sabiendo que se contará con una alimentación suficiente y controlada.
- El mantenimiento de una subestación eléctrica propia hace que se reduzcan los problemas de operación y las interrupciones de servicio.
- En el caso concreto de la instalación estudiada, se cuenta en la universidad a la que está vinculada la preparatoria, con un transformador de 350 kW en desuso, pues el aumento de carga demandada por dicha universidad ha ido creciendo hasta tener que hacer el cambio del transformador en su

subestación. No es difícil llegar a un arreglo económico con las autoridades de la universidad para dar uso a dicho transformador, pues gran parte del beneficio de la subestación le reeditúa directamente a la preparatoria.

Haciendo un breve análisis del ahorro en costos de energía se pueden dar los siguientes argumentos adicionales:

1. El costo de alimentación de la Cía. Suministradora es el siguiente:

ALTA TENSIÓN	COSTO
Cobro por Demanda	N\$ 23.778 por kW
Cobro por Consumo	N\$ 0.13972 por kWh
BAJA TENSIÓN	COSTO
Cobro por Demanda	N\$ 61.229 por kW
Cobro por Consumo	N\$ 0.30447 por kWh
Porcentaje de ahorro por Alta tensión:	
En cobro por demanda	61 %
En cobro por consumo	54 %

2. Esto nos hace ver que el suministro de energía eléctrica en Alta tensión es mucho más barato que en baja tensión, y que es atractivo pensar en recibir el suministro en alta tensión, sobre todo si se está cerca del límite máximo permitido para suministro en baja tensión.

3. De la tabla 4.4 se puede tener una aproximación de lo que representaría el ahorro por suministro en alta tensión para la instalación analizada, según datos de 1995.

Se puede inferir que, si los costos de una subestación para la carga instalada actual están cerca de los N\$90,000.00, con el ahorro que se

Tabla 4.4

**SUPUESTOS COSTOS POR SUMINISTRO DE ENERGIA
DE IGUAL CARGA PERO EN ALTA TENSION**

	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
DEMANDA (KW)	94	98	104	95	74	75
CONSUMO (KWH)	21420	19500	19620	20340	17880	14280
FACTURACION NOMINAL	5226.75	5053.61	5212.994	5099.648	4256.816	3777.666
AJUSTES PRECIO COMBUSTIBL	575	736.85	945	930.5	839	721
BONIFICACIÓN F.P. <90%	-223	-245	-255	-259	-238	-197
MANTENIMIENTO	11	13	13	13	14	13
IVA	838.463	833.769	887.3991	867.6222	730.7724	647.1999
TOTAL A PAGAR	6428.22	6392.229	6803.393	6651.7702	5602.5884	4961.866

PROMEDIO DE DEMANDA 90 KW
 PROMEDIO MENSUAL DE CONSUMO 18840 KW

TOTAL A PAGAR MENSUAL (PROMEDIO) **N\$ 6140**

COSTO EN PROMEDIO EN BAJA TENSION N\$ 12437
 (cfr. TABLA 4.0)

AHORRO PORCENTUAL 51%

especifica en la tabla 4.4 la inversión de la subestación se paga en aproximadamente 14.5 meses.

Esta tesis no pretende ser una evaluación económica detallada del costos de la subestación; simplemente quiere dar elementos comparativos a considerar que han surgido a raíz de analizar la instalación eléctrica y el costo por consumo actual de energía.

2. División de la carga total en dos sistemas

La institución educativa donde se realizó el trabajo de tesis tiene dos grandes divisiones: el colegio (que abarca primaria y secundaria) y la preparatoria.

Por petición de los directivos se hizo un estudio de cargas instaladas divididas en esas dos grandes ramas, con el objeto de pensar en la posibilidad de dividir en dos la instalación completa y quizá solicitar a la compañía suministradora una nueva acometida en baja tensión y evitar así la instalación de una subestación.

A continuación se muestran los datos más significativos de dicha división: (tabla 4.5)

a. Del análisis de la tabla se puede ver que efectivamente un alto porcentaje de la carga total instalada está en la zona que corresponde a la preparatoria.

b. Es factible solicitar a la compañía suministradora la contratación de una nueva acometida, que entre directamente a la preparatoria y separar definitivamente los costos de ambos.

CARGAS COMPARTIDAS

	Tablero	W total	
		del Tablero	
1	TBG1	28188	labs.
2	TDG2	11040	labs.
3	TDG3	2190	labs.
	total	41,418 w	
	entre 2	20709	

Tabla 4.5
Distribución de cargas

CARGAS DEL COLEGIO

1	TBA1	8835	Colegio
2	TBB1	11280	Colegio
3	TBC1	37790	Colegio
4	TAC3	2000	Colegio
5	TBD1	14763	Colegio
6	TAD2	2000	Colegio
7	TBE1	14803	Colegio
8	TBF1	30303	Colegio
9	TDG4	5790	Colegio
10	TAH1	825	Colegio
11	TCK1	5580	Colegio
12	TAL1	2000	Colegio
13	TBS1	4875	Colegio
		20709	labs.
		2900	motores
	total	164,453 w	

gran total 254,254 w

CARGAS DE LA PREPARATORIA

1	TBI1	30215	Prepa
2	TBJ1	6110	Prepa
3	TBM1	2450	Prepa
4	TBN1	4167	Prepa
5	TCO1	4520	Prepa
6	TBO2	2700	Prepa
7	TBP1	2390	Prepa
8	TCQ1	1080	Prepa
9	TVR1	660	Prepa
		20709	labs.
		14800	motores
	total	89,801 w	

Porcentaje Colegio 64.68%
Preparatoria 35.32%

c. La instalación de una nueva acometida y la separación de las dos nuevas instalaciones, tiene un costo de aproximadamente la tercera parte del costo de la subestación propuesta en el n.l.

d. No se recomienda la separación de la instalación en dos secciones independientes, por las siguientes razones:

- No es una plataforma de crecimiento a futuro.
- No ofrece la seguridad de servicio que da una subestación propia.
- Se seguiría facturando en baja tensión, con una tarifa superior a la de alimentación en alta tensión.
- Seguirían utilizándose cargas compartidas -por ejemplo laboratorios, bombas de riego, iluminación de estacionamientos, etc.- con el necesario convenio de distribución de costos, por lo menos durante el tiempo previo a las remodelaciones.
- Aunque el costo de instalación de la subestación propuesta es, como se dijo, alrededor de tres veces el costo de la separación de la instalación en dos sistemas independientes (costo aproximado de dicha separación: \$27,000), la inversión de una subestación se recupera con el ahorro obtenido de las tarifas que se cobran en alta tensión, siempre menores a las de baja tensión.

IV. PROYECCIÓN A FUTURO

Como se mencionó en el capítulo III de este trabajo de tesis, el dimensionamiento de la instalación eléctrica de una institución educativa de importancia es casi imposible establecerlo por medio de unos parámetros rígidos establecidos desde su fundación, sino que el aumento de la población escolar, los avances técnicos en equipo computacional, las necesarias adaptaciones de los espacios y salones, la iluminación en campos deportivos, estacionamientos, corredores, y muchas otras mejoras, hacen necesario establecer una plataforma de crecimiento y proyección a futuro.

En la institución estudiada se tienen algunos planes de crecimiento que, si bien aún no se tiene una fecha próxima para el comienzo de las ampliaciones, sí se puede mencionarlos de modo general y hacer un breve cálculo de la futura carga total demandada.

El cálculo de la carga se puede hacer de muchos modos; por ejemplo, para el caso de alumbrado, se puede usar el método de lúmenes para calcular el flujo total luminoso que se requiere en locales interiores; o el método de cavidad zonal, que toma en cuenta la posición de los luminarios con respecto al suelo, techo y zona de trabajo; o el método de punto por punto, donde es necesario determinar con exactitud el nivel de iluminación de un lugar localizado con precisión; o por medio del método de cargas mínimas por metro cuadrado, que permite hacer una estimación rápida de las cargas requeridas para los niveles de iluminación recomendados según la tarea que se desempeñará en diversas zonas de la instalación eléctrica.

Se utilizó este último método para la estimación de cargas futuras, ya que aún no se tienen los planos de ampliación definitivos sino solamente las necesidades estimadas y las áreas de construcción probables para cada zona. El factor de carga sugerido en la segunda columna se tomó de tablas.³⁷

Tabla 4.6
CRECIMIENTO PRÓXIMO DE
LA INSTALACION ELÉCTRICA
(a mediano y largo plazo)

	Área m ²	Factor de Carga en w/m ²	Carga Alumbrado w
1 Auditorio	200	10	2000

³⁷ Enríquez Harper, EL ABC DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES, op.cit., página 191.

2	Estacionamiento 1	1500	5	7500
3	Estacionamiento 2	600	5	3000
4	Gimnasio	500	25	12500
5	Biblioteca	480	30	14400
6	Cubículos profesores	60	30	1800
7	A. Cancha Pasto	4050	30	-
8	A. Canchas aire libre	4050	10	40500
9	Centro de cómputo 2 y 3	192	30	5760
10	Salones prepa	768	30	23040
11	Oratorio prepa	120	10	1200
12	Laboratorios prepa	288	30	8640
13	Contabilidad	384	30	11520
	total			131860 W

m² de construcción 5092

Se puede concluir que el crecimiento de la instalación eléctrica hará aún más necesario la incorporación de una subestación eléctrica con plataforma de crecimiento, considerando lo que ya se explicó sobre las ventajas de una subestación.

CONCLUSIONES

Cuando una empresa se cuestiona sobre su propio funcionamiento está mostrando que tiene confianza en sí misma y en sus capacidades de perfeccionamiento. Uno de los muchos campos en los que este mejoramiento se puede hacer es el campo de consumo energético.

Al hacer la evaluación de una instalación eléctrica es adecuado analizar si se pueden mejorar aspectos como el ahorro de energía eléctrica, la seguridad, si están establecidas bases para proyectos futuros, la posible sustitución de sistemas actuales por otros más eficientes, etc.

El trabajo de tesis presentado buscó ante todo partir una necesidad concreta: la evaluación y el proyecto de mejoramiento de una instalación eléctrica de una institución educativa, buscando aportar soluciones viables, concretas, a los problemas que se detectaron al analizar las instalaciones.

En los capítulos III y IV se presentaron una serie de propuestas a problemas detectados que no es necesario repetir en estas conclusiones más que de manera muy esquemática:

- Es necesario dar un seguimiento más cercano al crecimiento de la demanda eléctrica de la institución, ya que no es bueno dejar un espacio de muchos años sin actualizar los planos

eléctricos a las cargas reales: de este modo el crecimiento es ordenado y con visión a futuro. De otro modo se tiende con facilidad a sobrecargar las protecciones de diversos tableros, subestimando los cálculos de dichas protecciones y de los conductores instalados.

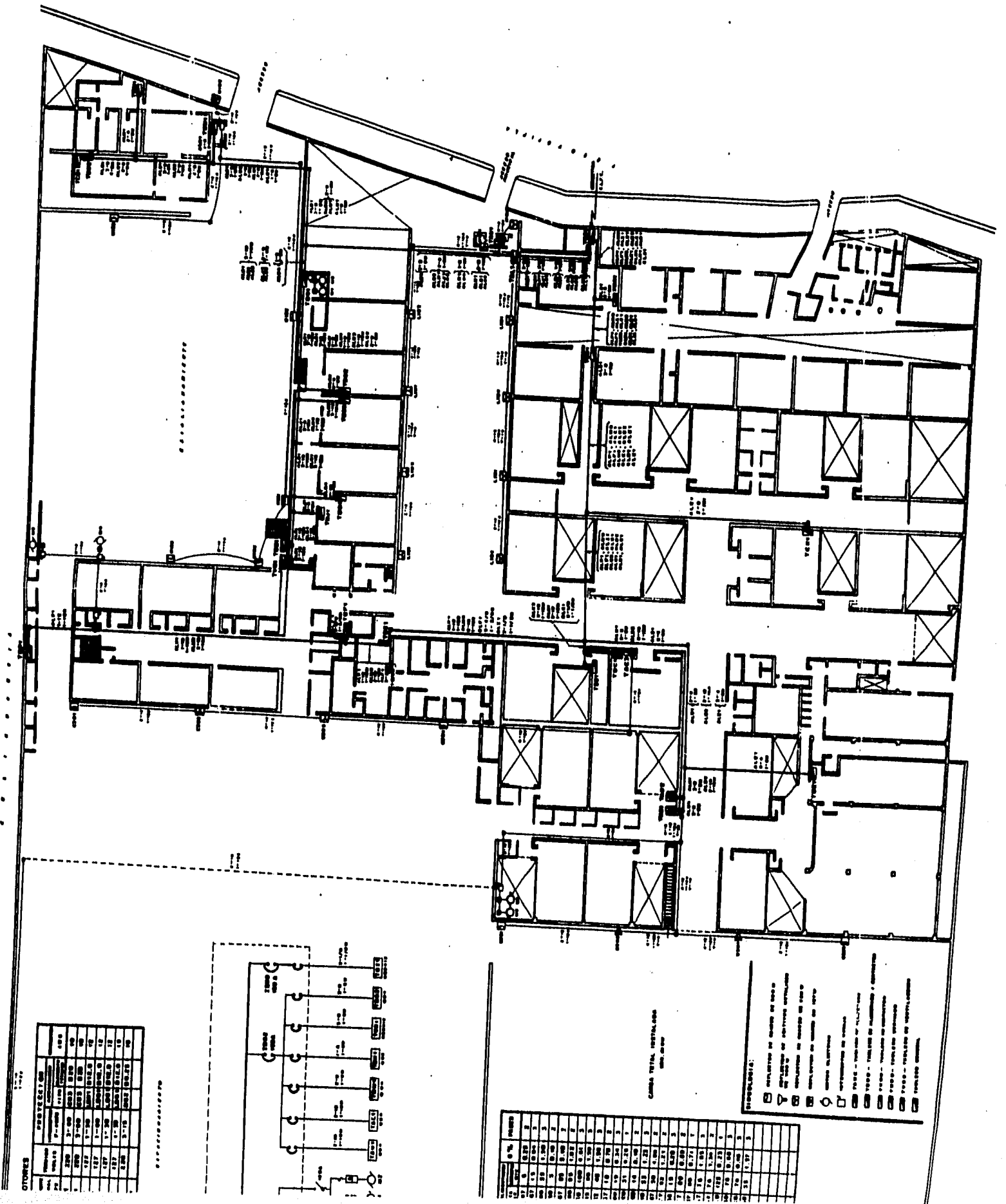
- Es importante evaluar, al hacer nuevas instalaciones de carga, cómo se distribuirán entre las fases alimentadoras, de este modo se evita un desbalance excesivo de las fases y se disminuyen las posibilidades de que el sistema de alimentación falle.
- Una necesidad impostergable es la de instalar un tablero de protecciones generales para toda la instalación, pues carece de él: y tanto por la seguridad de todo el sistema como por Ley Federal, se debe contar con uno.
- Es importante hacer la sustitución de aquellos elementos de protección que tienen un valor superior o inferior al necesario según la carga de cada tablero, pues no está cumpliendo con su función protectora e interruptiva. Al hablar de valor superior se está refiriendo a que se encontraron interruptores con un factor de interrupción muy por encima del necesario para proteger las cargas, los cuales, ante una falla eléctrica permitirían el sobrecalentamiento de los conductores y quizá la combustión del aislamiento. Y al hablar de valor inferior se está refiriendo a aquellos interruptores que tienen un valor de interrupción tan pequeño que, ante un porcentaje alto de cargas instaladas que requieran energía al mismo tiempo con facilidad se producirán interrupciones innecesarias.
- Se presentó una visión general de los beneficios que reportará a la institución la sustitución de lámparas incandescentes por fluorescentes: esto está enfocado a crear, en el personal de la institución y en la planeación a futuro, una cultura del ahorro de energía. Esta cultura tiene como finalidad valorar cada vez con más hondura la importancia

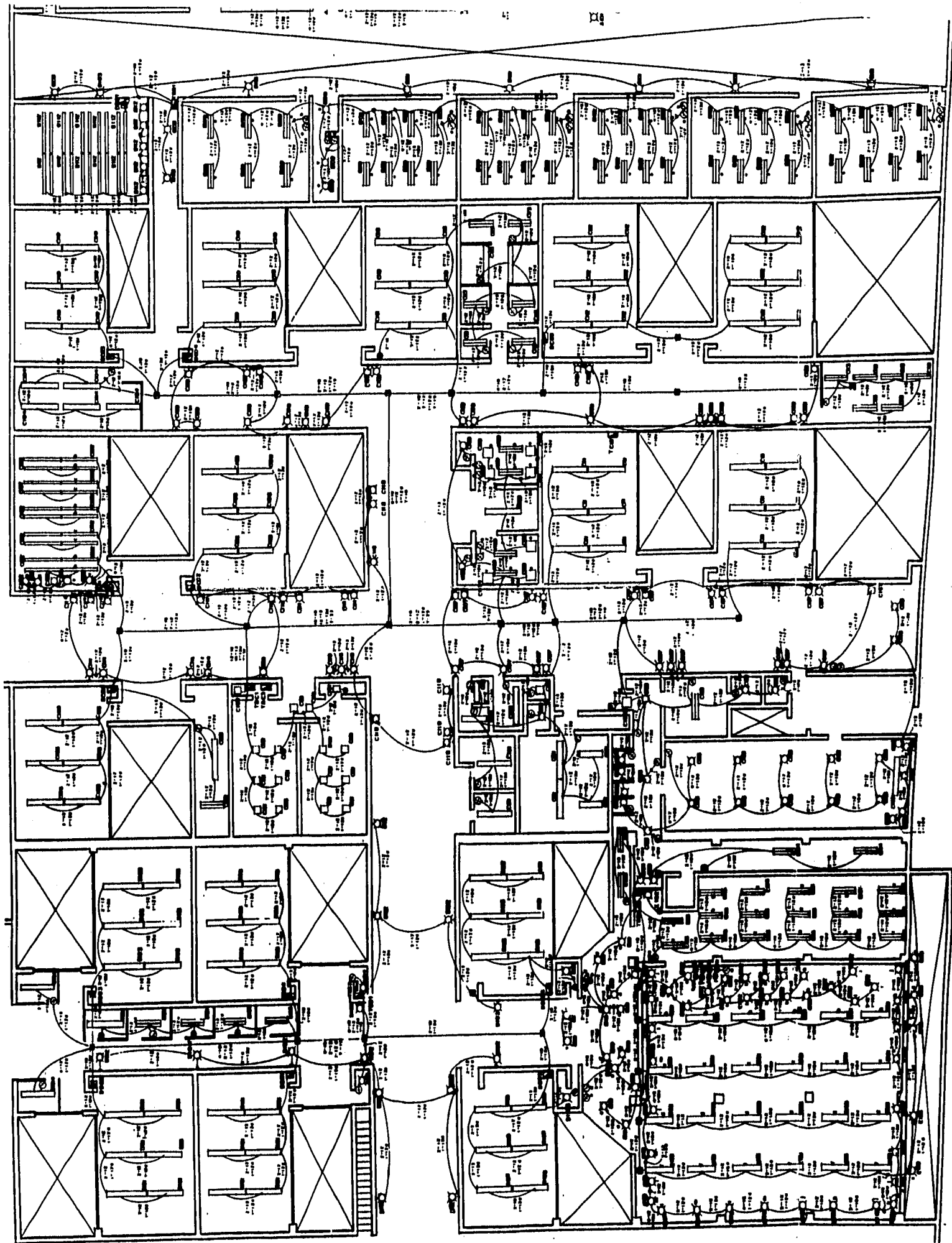
de utilizar eficientemente las fuentes de energía, evitando su consumo innecesario, siendo a la vez manifestación otra cultura más profunda: la cultura del trabajo y de la productividad que, en una empresa educativa, es uno de los más importantes valores que se pueden transmitir.

- Se detectó la necesidad de contar con una red de tierras en toda la institución ya que, como la gran mayoría de las instalaciones eléctricas con más de 15 años de antigüedad, al momento de su instalación no se dió la importancia debida a dicha red. Esta red de tierras se comenzará a extender por aquellas zonas donde se trabaja con equipo eléctrico o electrónico delicado.
- Se presenta la disyuntiva entre la instalación de una subestación eléctrica con alimentación en alta tensión o la división de la instalación eléctrica general en dos instalaciones con acometidas separadas y alimentadas en baja tensión, como hasta ahora, así como las ventajas y desventajas de cada alternativa. El análisis se inclina a proponer la instalación de una subestación eléctrica valorando esta inversión como algo muy redituable en beneficio del centro educativo.

Por último, este trabajo pretende ser una ayuda concreta para evaluar un proyecto y tener una perspectiva más detallada de los elementos que hay que considerar en el análisis y propuesta de una instalación eléctrica adecuada. También esta tesis puede utilizarse como texto al impartir algunos de los temas de la materia de Instalaciones Eléctricas.

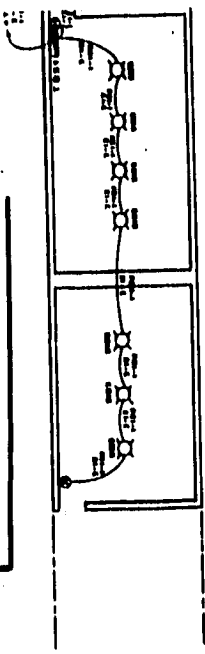
APÉNDICE



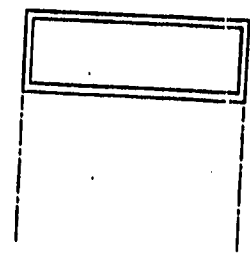
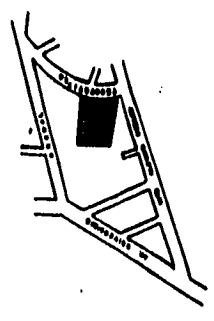


CENTRO ESCOLAR CEDROS

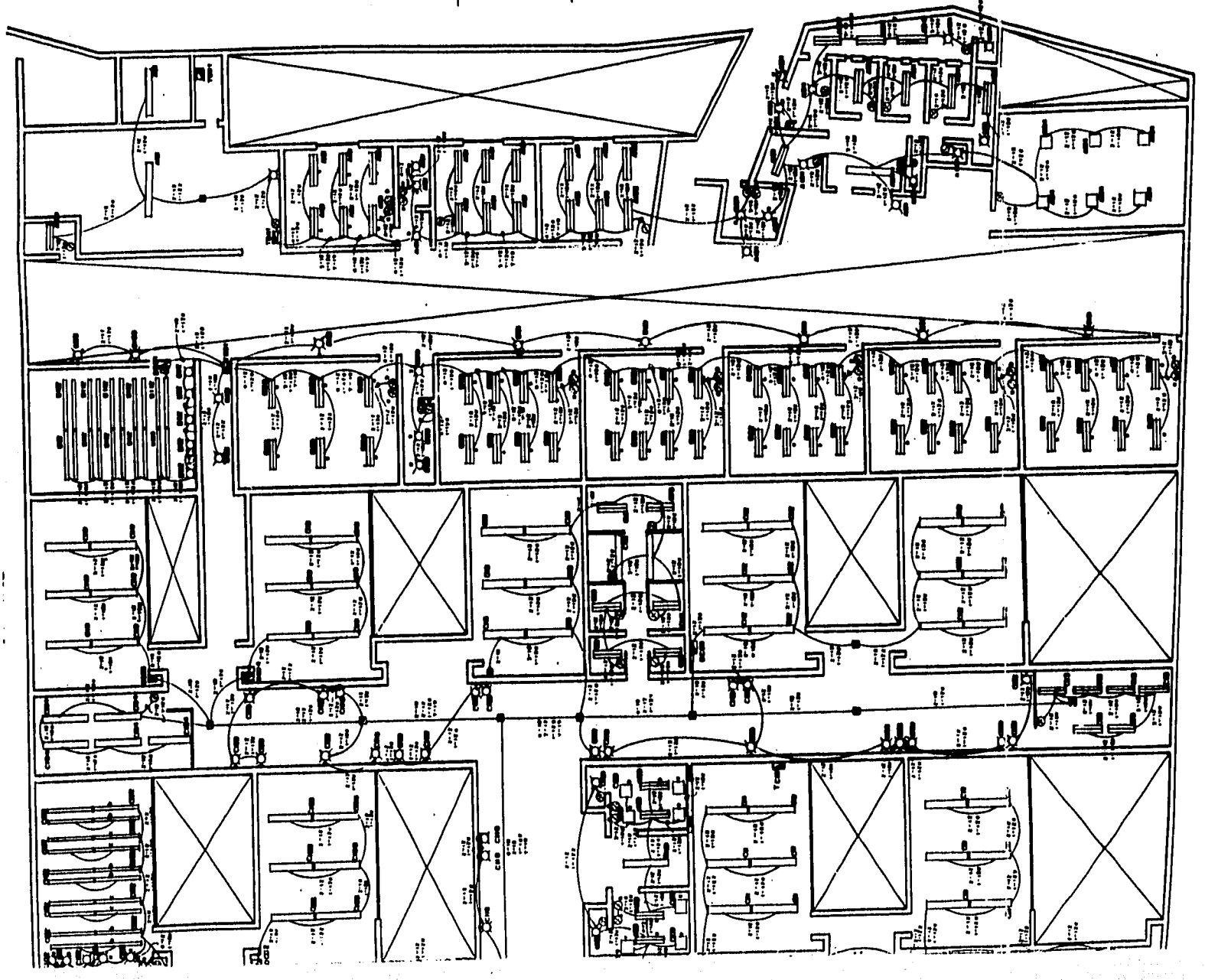
PROYECTO: TENDONITLA 304 COL. CRISTALISTAS
ALUMBRADO
Escala: 1:125
AÑO: 1960
DISEÑADO POR: [Signature]



PLANTA ALTA



PLANTA ALTA



CENTRO ESCOLAR CEDROS

PROYECTO: TECTONITLA # 364 COL. OROBLINQUE CHIMALISTAC

LOCALIDAD: ALUMBRADO

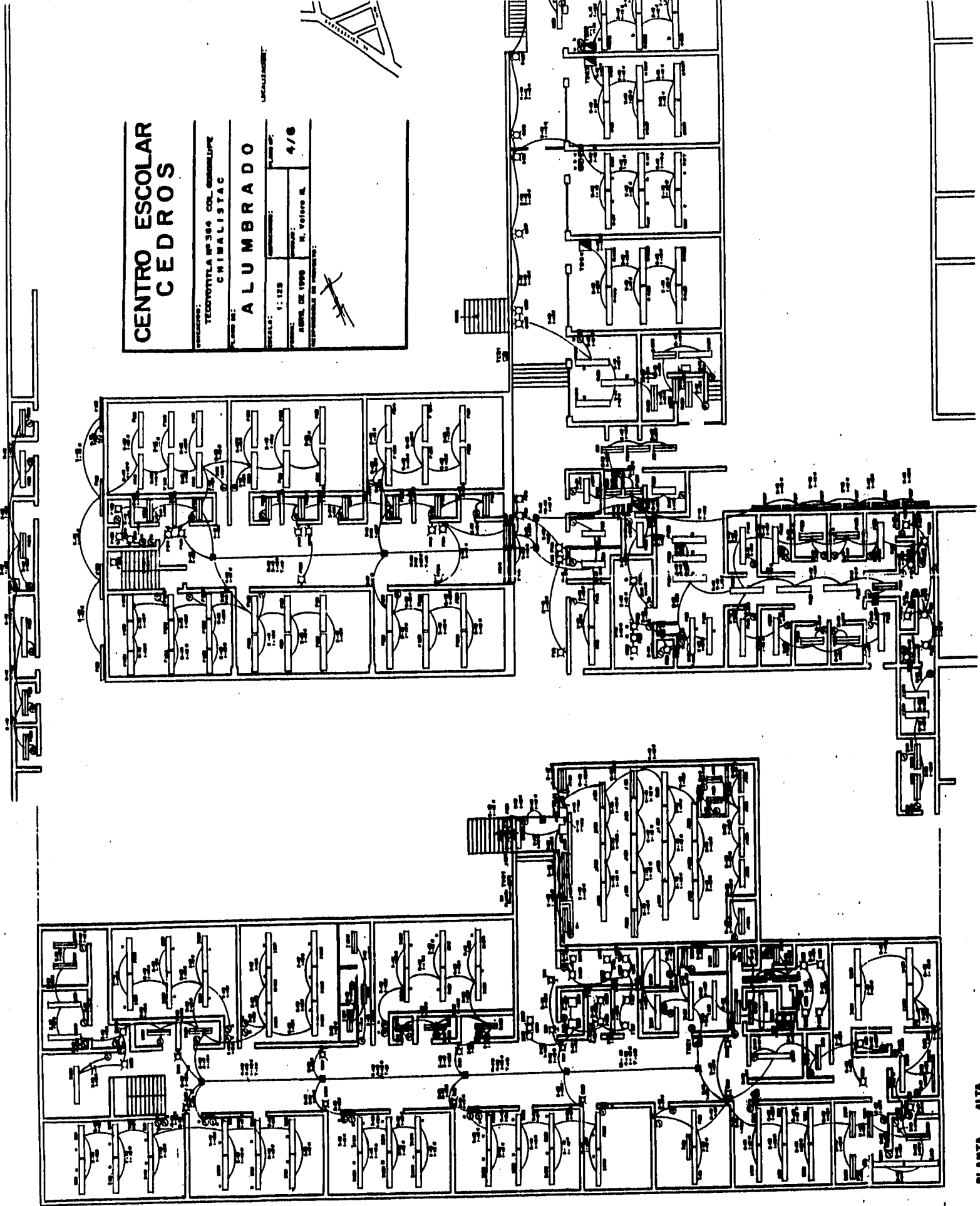
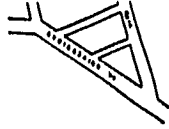
PROYECTO: 1-123

FECHA: ABRIL DE 1990

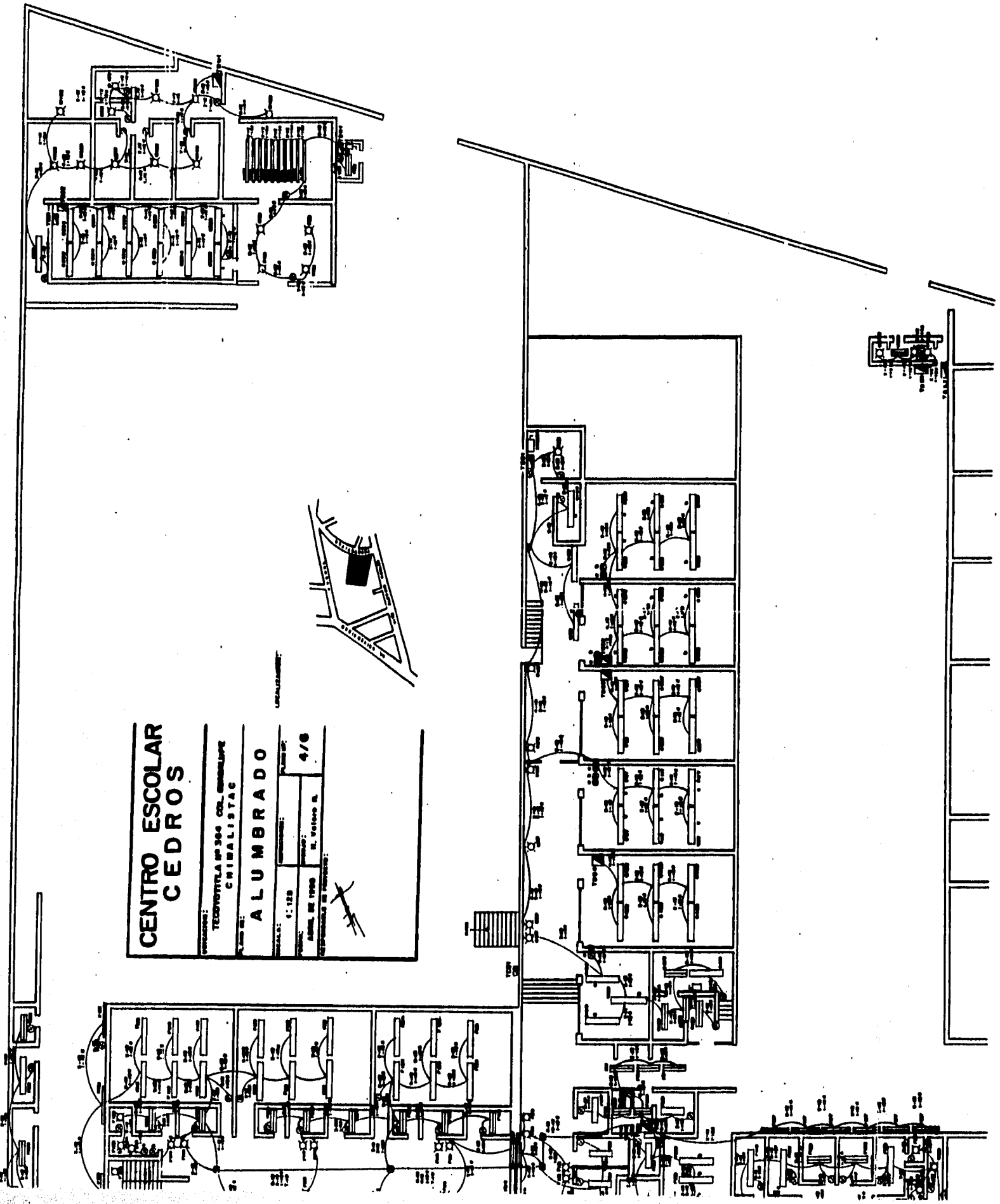
PROYECTADO POR: N. VOJOTO B.

ESCALA: 4/8

LOCALIZACION:



PLANTA ALTA



**CENTRO ESCOLAR
CEDROS**

PROYECTO: TECOVITILA # 304 COL. GEMINALE
CHIMALISTAC

ALUMBRADO

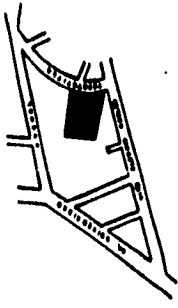
FECHA: 1-12-80

PROYECTO: 4/8

ABRIL DE 1980

AV. VOICHO B.

PROYECTO DE ALUMBRADO



BIBLIOGRAFÍA

1. William Hayt y Jack Kemmerly, ANALISIS DE CIRCUITOS EN INGENIERIA, 1a.edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 1988.
2. Serway Raymond, FISICA, 1a. edición en español, Nueva Editorial Interamericana, México, D.F. 1987.
3. Kraus, John, ELECTROMAGNETISMO, Tercera Edición, Editorial Mc Graw Hill, México, D.F., 1984.
4. Enriquez Harper Gilberto, El ABC DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES, Ed. Limusa, México, 1985.
5. Ing. Sergio Martínez, Apuntes para la materia de Instalaciones Eléctricas.
6. Bratu, Neagu y Campero, Eduardo; INSTALACIONES ELÉCTRICAS, CONCEPTOS BÁSICOS Y DISEÑO; Editorial Alfa Omega. México, 1990.
7. Sierra Madrigal, Víctor y Sansores Escalante, Alfonso, MANUAL TÉCNICO DE CABLES DE ENERGÍA, 2a. Edición, Editorial McGraw Hill, México, 1984.
8. Torrijos Elorriaga, Roberto; DISEÑO DE ILUMINACIÓN PARA LA OPTIMIZACION DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN UN EDIFICIO INTELIGENTE" Tesis profesional, Universidad La Salle, México, 1994.

9. Enríquez Harper Gilberto, **INSTALACIONES ELÉCTRICAS PRÁCTICAS**, 11a. Edición, Editorial Limusa, México, 1985.

10. Enríquez Harper Gilberto, **El ABC DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS RESIDENCIALES**, Ed. Limusa, México, 1985.

11. Raúll Martín, José; **DISEÑO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS**; Editorial Mc Gran Hill; 1a. edición; México, D.F., 1992.

12. Volger Karl, **INSTALACIONES TÉCNICAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS**, primera edición, Editorial Labor, Barcelona, España, 1968, página 279.

13. Westinghouse, **LIGHTING HANDBOOK**, Bloomfield, N.J., June 1954.

14. **NORMAS TECNICAS PARA INSTALACIONES ELECTRICAS. PARTE I. INSTALACIONES PARA EL USO DE ENERGIA ELECTRICA**. Editado por el Instituto Politécnico Nacional. México, D.F., Enero 1985.

15. **DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMP-1994 RELATIVA A LAS INSTALACIONES DESTINADAS AL SUMINISTRO Y USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA**. Octubre de 1994.

16. Shrader, **ELECTRICIDAD, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES**, Primera edición, Editorial Mc Graw Hill, México D.F., 1979.

17. Enríquez Harper Gilberto, **ELEMENTOS DE DISEÑO DE SUBESTACIONES ELECTRICAS**, Ed. Limusa, México, 1993.