



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN

INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN UN COMPLEJO  
HABITACIONAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A:

ENOCH SANTIAGO RIVERO

ASESOR: M. en A. DIANA FABIOLA ARCE ZARAGOZA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos LA TESIS:

“Instalación Eléctrica en un complejo Habitacional”

Que presenta el pasante: ENOCH SANTIAGO RIVERO  
Con número de cuenta: 30523863-2 para obtener el Título de: Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 21 de Octubre de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

|                     | NOMBRE                               | FIRMA |
|---------------------|--------------------------------------|-------|
| <b>PRESIDENTE</b>   | M.I. Casildo Rodríguez Arciniega     |       |
| <b>VOCAL</b>        | Ing. José Gustavo Orozco Hernández   |       |
| <b>SECRETARIO</b>   | M. en A. Diana Fabiola Arce Zaragoza |       |
| <b>1er SUPLENTE</b> | M.I. Jaime Fuentes Sánchez           |       |
| <b>2do SUPLENTE</b> | Ing. Ernesto Alfonso Ramírez Orozco  |       |

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

IHM/yrf

Dedicatoria:

Para mi Madre y Padre las dos personas más importantes en mi camino, que con su esfuerzo, cariño y gran apoyo incondicional lograron brindarme una educación universitaria y enseñarme a que siempre se puede llegar más lejos, a mis primos que son un ejemplo de superación personal y académica, a la UNAM por darme la oportunidad de forjar mi educación. A mi asesora y profesores involucrados para la realización de este proyecto ya que estuvieron para guiarme y otorgarme su gran ayuda y conocimiento.

A todos ustedes que han formado parte de mi vida con todo mi cariño y agradecimiento les dedico cada una de estas páginas de mi tesis.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN

INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN UN COMPLEJO  
HABITACIONAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A:

ENoch SANTIAGO RIVERO

ASESOR: M. en A. DIANA FABIOLA ARCE ZARAGOZA  
CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2014

## Indicé

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Parte Introductoria</b>                                    | <b>4</b>  |
| 1.1      | Planteamiento del Problema.                                   | 4         |
| 1.2      | Justificación.  | 4         |
| 1.3      | Objetivo General.   | 4         |
| 1.4      | La industria eléctrica en México.                             | 4         |
| 1.5      | La industria eléctrica en el Porfiriato.                      | 5         |
| 1.6      | El inicio de las empresas eléctricas en México.               | 6         |
| 1.7      | Cambio tecnológico.   | 7         |
| 1.8      | La industria eléctrica en el Cardenismo.                      | 8         |
| 1.9      | La ley de la industria eléctrica.                             | 8         |
| 1.10     | Desarrollo económico y crecimiento de la industria eléctrica. | 10        |
| 1.11     | Las empresas eléctricas en México entre 1940 y 1959.          | 13        |
| 1.12     | Cambio tecnológico de la Industria eléctrica.                 | 15        |
| 1.13     | Cambio tecnológico en las centrales termoeléctricas.          | 15        |
| 1.14     | El cambio tecnológico en la generación hidroeléctrica.        | 17        |
| 1.15     | La fuerza de trabajo en la industria eléctrica.               | 19        |
| 1.16     | La nacionalización.   | 20        |
| <b>2</b> | <b>Conceptos Básicos para Instalaciones Eléctricas.</b>       | <b>24</b> |
| 2.1      | Instalación eléctrica.  | 25        |
| 2.2      | Redes de distribución subterránea baja tensión.               | 25        |
| 2.3      | Normas de distribución.                                       | 26        |
| 2.4      | Partes de un circuito eléctrico.                              | 27        |
| 2.5      | Corriente eléctrica.  | 27        |
| 2.6      | Medición de la corriente eléctrica.                           | 28        |
| 2.7      | Voltaje o diferencia de potencial.                            | 28        |
| 2.8      | Resistencia eléctrica.  | 29        |
| 2.9      | Ley de ohm.   | 30        |
| 2.10     | Potencia.   | 31        |
| 2.11     | Tipos de Potencia.  | 32        |
| 2.12     | Triángulo de potencias.                                       | 33        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.13     | Factor de potencia.  | 33        |
| 2.14     | Factor de Demanda.   | 34        |
| 2.15     | Las leyes de Kirchhoff.  | 35        |
| 2.16     | La ley de Kirchhoff de corrientes.   | 36        |
| 2.17     | La ley de Kirchhoff de voltaje.  | 36        |
| 2.18     | Ecuaciones de malla.   | 37        |
| 2.19     | Análisis de las corrientes de rama.  | 37        |
| 2.20     | Análisis de las corrientes de malla.   | 37        |
| 2.21     | Análisis de los voltajes de nodo.  | 38        |
| <b>3</b> | <b><i>Elementos de una instalación eléctrica.</i></b>                        | <b>38</b> |
| 3.1      | Conductores Eléctricos.  | 38        |
| 3.2      | Materia primas más utilizadas en la fabricación de conductores.              | 39        |
| 3.3      | Materiales Aislantes para Conductores.                                       | 41        |
| 3.4      | Características principales de los aislamientos para Conductores eléctricos. | 45        |
| 3.5      | Canalizaciones.  | 47        |
| 3.6      | Transformadores Tipo Pedestal.   | 51        |
| 3.7      | Características eléctricas de los transformadores.                           | 53        |
| <b>4</b> | <b><i>Fraccionamiento "Republica de San José".</i></b>                       | <b>55</b> |
| 4.1      | Proyecto.  | 55        |
| 4.2      | Centro de carga.   | 56        |
| 4.2.1    | Caso "A".  | 57        |
| 4.2.2    | Caso "B".  | 62        |
| 4.2.3    | Caso "C".  | 64        |
| 4.3      | Selección de conductores, caída de tensión y regulación de voltaje.          | 66        |
| 4.3.1    | Caso "A"   | 67        |
| 4.3.2    | Caso "B"   | 72        |
| 4.3.3    | Caso "c"   | 80        |
| 4.4      | Tablas de Resultados.  | 85        |
|          | <b><i>Conclusiones.</i></b>  | <b>88</b> |
|          | <b><i>Bibliografía</i></b>   | <b>89</b> |
|          | <b><i>Cibergrafía.</i></b>   | <b>89</b> |
|          | <b><i>Apéndices y anexos</i></b>   | <b>90</b> |

### **1.1 Planteamiento del Problema.**

En este proyecto trataremos de cumplir con las necesidades requeridas para una de las áreas que requiere una buena instalación eléctrica en un conjunto habitacional que es el objetivo a realizar. Al tratarse de un complejo habitacional residencial-medio debemos tratar de que el transformador o transformadores a usar no queden a su capacidad máxima para evitar problemas a largo plazo, debemos mencionar que estos serán tipo pedestal ya que se trata de una instalación subterránea. La electrificación del complejo será mediante tres casos diferentes ya que este está dividido en secciones las cuales detallare en el capítulo 4.

### **1.2 Justificación.**

La elaboración de este proyecto es con el fin de aplicar métodos y conocimientos aprendidos a lo largo de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica en materias como Análisis de Circuitos Eléctricos, Electricidad y Magnetismo, Motores y Transformadores, Sistemas de Distribución entre otras, la finalidad de esto es poder demostrar que todo lo aprendido es indispensable para poder realizar un proyecto real y funcional, lo cual beneficia a una empresa, sociedad y país.

### **1.3 Objetivo General.**

EL objetivo general es realizar la instalación eléctrica subterránea en un conjunto habitacional partiendo del plano arquitectónico donde se muestran todas las áreas del conjunto, para lo cual tendremos que realizar cálculos de corriente, kva, centros de carga, etc., uso de tablas para determinar el calibre y tipo de conductores así como el tipo de ductos que necesitaremos esto para que dicha instalación sea eficiente y de buena calidad.

### **1.4 La industria eléctrica en México.**

La industria eléctrica en México a lo largo de su historia siempre ha tenido que ver de una manera muy importante en el desarrollo económico nacional. Esta industria paso de ser un monopolio privado a un monopolio en función del estado y a tener una importante intervención en el desarrollo nacional.

Este cambio se inicia a partir de procesos que pueden ser individualizados y tales corresponden a la intervención del estado dentro de esta industria, algunos de ellos por ejemplo la evolución de las empresas eléctricas en el país, la economía del sector; el cambio tecnológico; los virajes en el sindicalismo y en el movimiento obrero electricista y las transformaciones en las características de la fuerza de trabajo todo esto en el contexto de un estado nacional.

El periodo principal en el desarrollo de tal industria fue de 1890 a 1934, el cual solo se abordara en sus aspectos más generales.

### 1.5 La industria eléctrica en el Porfiriato.

El ascenso de la industria eléctrica en México estuvo asociado al crecimiento económico logrado durante el Porfiriato, especialmente en algunas ramas que comenzaron a usar energía eléctrica como fuerza motriz por ejemplo la industria textil y minera en estas el capital extranjero tuvo una mayor inversión .

Pero enfocándonos en el sector que nos interesa, en 1879 se introdujo por primera vez la electricidad esto en la fábrica de hilados y tejidos “La Americana” en la ciudad de León Guanajuato la que después se utilizó para alumbrado público. En julio de 1880 se instalaron a manera de prueba en la ciudad de México un par de focos de arco, uno en el kiosco y otro en la esquina suroeste del jardín de la plaza de la constitución ya que para el siguiente año la compañía que suministraba el alumbrado de gas a la ciudad comenzaría a usar luz eléctrica.

El alumbrado público se comenzó a instalar en las capitales de los estados de Guanajuato en 1884, en Monterrey 1888, Veracruz y Mérida en 1889. En este mismo año se elaboró una estadística de las plantas y los sistemas generadores de energía eléctrica de la cual se desprendió que la capacidad total de carga instalada en el país era de 837.89 kW en 60 plantas, de los cuales solo el 9.51% era de origen hidráulico; el resto de origen térmico. Además el 71.56% de esa potencia instalada se destinaba a servicios públicos y solo el 28.44% a empresas privadas.

| Zonas          | KiloWatts (Instalados) | Porcentaje Total |
|----------------|------------------------|------------------|
| Norte          | 65.52                  | 7.85             |
| Golfo          | 53.7                   | 6.42             |
| Pacífico Norte | 17.47                  | 2.08             |
| Pacífico Sur   | 19.5                   | 2.34             |
| Centro         | 681.7                  | 81.31            |
|                |                        |                  |
| Total          | 837.39                 | 100              |

*Fuente: Rafael Arzipe, El alumbrado Público de la Ciudad de México, la Europea, México 1990*

El alumbrado fue de los servicios públicos principales aunque después se extendieron a los tranvías eléctricos. En la Ciudad de México se puso en servicio el primer tranvía eléctrico el 15 de enero de 1900 y fuera del Distrito Federal en 1907. A finales de esta década cuando el país se encaminaba hacia un periodo de paz social y la inversión internacional resurgía la electricidad empezó a utilizarse en forma más creciente en minas y fábricas.

El crecimiento económico de mayor importancia durante el Porfiriato repercutió sobre los requerimientos públicos y privados de energía eléctrica. Hacia 1899 había 41 607 caballos de fuerza, correspondientes a 31 038.82 kW de los cuales el 38.8% eran generados en forma hidráulica. En ese año existían 65 poblaciones con alumbrado eléctrico público, 177 instalaciones de alumbrado privado, 14 plantas hidroeléctricas y 5 de vapor.

### **1.6 El inicio de las empresas eléctricas en México.**

Lo que abrió paso a las industrias eléctricas en México fueron las empresas privadas, esto del periodo de 1879 a 1934 las cuales generaban el fluido lo transmitía y distribuía a usuarios públicos y privados. Ya que en un principio las empresas eran pequeñas y escasas debido a que estas eran creadas en función de las necesidades locales. Pero al ser mayores los requerimientos y el aumento de la población que necesitaba el flujo eléctrico comenzaron a crearse compañías suministradoras.

Ya que en México se comenzó a usar la electricidad como fuente de energía dirigida principalmente al alumbrado público, la industria textil y minera, estas mismas fueron las que instalaron las primeras plantas eléctricas para abastecer sus propias industrias y también surtían a la población en las que estas se establecían.

Con la entrada del nuevo siglo surgió un gran monopolio en la zona centro del país la *Mexican Light and Power* que junto con la *American and Foreign Power* y la *Compañía Eléctrica de Chapala*. La *Mexican Light and Power* centro sus actividades en la compra de concesiones para el aprovechamiento de aguas propiedad de la nación, instalación de plantas hidroeléctricas y compañías eléctricas, estas empresas mencionadas fueron las que dominaron el panorama hasta que surgiera la *Comisión Federal de Electricidad*.

## 1.7 Cambio tecnológico.

El proceso de urbanización se aceleró en este periodo así que entre 1910 y 1940, mientras la población total de país creció en un 3%, la población urbana lo hizo en un 56%, población que demandaba diversos servicios entre ellos el de energía eléctrica.

La industria eléctrica logro crecer a pesar de la destrucción que provoco el movimiento revolucionario, en ese entonces la empresa Mexican Light y sus subsidiarias tenían instalados a mediados de los años 20 tenían instalados 50 748 kW; la compañía Hidroeléctrica Guanajuatense y sus subsidiarias tenían 14 920 kW, la compañía de luz y fuerza de Puebla, S.A. operaba con 1 5218.4 kW, la compañía eléctrica de Chapala, S.A. operaba con 13 548 kW y la compañía eléctrica Queretana S.A. con 4 476 Kw, para el año de 1926 había una capacidad total instalada en el país de 526 000 Hp (392 396 kW) los cuales el 70% se empleaba en los servicios públicos y el 30% restante en las empresas diversas.

En este periodo la generación de energía fue principalmente por medios hidráulicos, Durante las tres primeras décadas de este siglo las hidroeléctricas puestas en operación se diferenciaban poco unas de otras, los equipos principales son las turbinas en este periodo las más utilizadas fueron las tipo horizontal , sin embargo la eficiencia de las turbinas tendió a aumentar por ejemplo la central Portezuelo la cual comenzó a operar en 1908 y requería de  $12.9 m^3$  de agua para generar cada kWh, mientras que la de Tuxpango iniciada en 1931, solo necesitaba  $2.52 m^3 / kWh$ .

Por lo que se refiere al generador eléctrico la capacidad de este fue aumentando conforme transcurrían los años. Por ejemplo en los años 1898 y 1943 el rango de los generadores estaba entre 6 250 y 132 kW. Las características técnicas de los equipos eran fijadas por los fabricantes ya que todos eran de importación.

Otra forma de generación de energía eléctrica es por centrales termoeléctricas aunque esta estuvo rezagada hasta después de la revolución, fue cuando se instalaron plantas de tamaño medio. Las características principales de los equipos de la central termoeléctrica: la caldera, turbina y generador. Las calderas mantuvieron sus presiones de  $30 kg/cm^2$  esto hasta la nacionalización de la industria eléctrica, mientras que los generadores a excepción de algunos no pasaban de 10 000 kW; las turbinas se mantenían a presiones moderadas de alrededor de  $30 kg/cm^2$

En el periodo de 1917 – 1934 se instalaron muchas centrales hidroeléctricas y termoeléctricas de mediano tamaño, Estas tuvieron un cambio en su capacidad de generación y equipos principales por ejemplo el remplazo de máquinas a pistón

por turbinas y el inicio de centrales hidroeléctricas con lo mejor de la automatización en los años 20. En este periodo la industria eléctrica fue de la mano con la economía en general aunque esta no dejo de crecer ni de modernizarse.

### **1.8 La industria eléctrica en el Cardenismo.**

Durante el sexenio cardenista su iniciativa entorno a la industria eléctrica fue con el decreto donde se fijaban condiciones a las que se sujetaría el otorgamiento de concesiones para la introducción, generación, distribución y venta de energía eléctrica este publicado el 18 de enero de 1937, este decreto establecía en su artículo 1 que la entidad encargada de otorgar concesiones, autorizaciones y/o permisos seria la Secretaria de Economía Nacional (SEN) y en caso de que se usaran aguas de propiedad nacional se haría en cooperación de la Secretaria de Agricultura y Fomento, los permisos solo se otorgarían a mexicanos o sociedades mexicanas; estas organizaciones en caso de tener socios extranjeros debía ser solo una pequeña parte ya que los que se establecía era que la mayoría fueran mexicanos, esto en el artículo 2.

La preferencia al otorgar concesiones y demás beneficios en igualdad de circunstancias se daría a las empresas semioficiales y a las sociedades cooperativas que organizaran la CFE o la SEN, esto en el artículo 3. Para los concesionarios se establece que el estado tendrá control y dirección en sus actividades, esto en el artículo 4.

Hay que recordar que desde 1933 existía un proyecto de ley para la industria eléctrica pero este fue modificado por el Congreso de la Unión en 1937.

### **1.9 La ley de la industria eléctrica.**

La Ley de la Industria Eléctrica se expidió el 31 de diciembre de 1938 y se publicó en el Diario Oficial el 11 de febrero de 1939. Sería el cuerpo normativo más complejo sobre industria eléctrica que haya existido jamás en México hasta esa fecha. El conjunto de leyes o decretos sobre la materia existentes hasta ese momento quedaron derogados o bien sometidos a esta Ley; por ejemplo, el Código Nacional Eléctrico. Con la ley, la CFE se consolidó y adquirió una mayor proyección.

- a) El de regular la generación, transformación, transmisión, distribución, exportación, importación, compra-venta, utilización y consumo de energía eléctrica con el fin de “obtener un mejor aprovechamiento en beneficio de la colectividad“

- b) El estimular el desarrollo de la industria eléctrica. Además, “la duración de las concesiones se fijará en relación con el tiempo necesario para amortizar su inversión, no excediendo en ningún caso los 50 años. Y al término de la concesión sus bienes pasarán a poder del Estado sin compensación alguna...” (Artículo 7).

En cuanto al orden de preferencia de las concesiones, hay un cambio sustantivo respecto del decreto sobre el otorgamiento de concesiones de 1936, que daba prioridad a las empresas semioficiales o cooperativas organizadas por la CFE o la SEN, sustituyéndolo por el criterio de preferencia en el otorgamiento “al solicitarle que garantice el mejor aprovechamiento del recurso natural y el mayor beneficio social...” (Artículo 13).

Por otro lado, refrendaba lo establecido en 1936 en el sentido de que sólo los mexicanos y sus sociedades tenían derecho a obtener concesiones, pero no hacia mayor especificación al respecto (artículo 15).

Las obligaciones de los concesionarios eran:

- Mantener las obras e instalaciones en condiciones satisfactorias para prestar el servicio y están obligadas a invertir en las mismas los fondos destinados a esos fines.
- Interconectar sus instalaciones con otras cuando a juicio de la SEN sea conveniente.
- Suministro energía a todo el que lo solicite dentro de la zona que comprenda la concesión.
- Vender energía eléctrica en bloque a las cooperativas de consumidores, conforme a las tarifas especiales que fija la SEN (artículo 19).
- Llevar una contabilidad separada de acuerdo con el sistema que establezca el reglamento de clasificación uniforme de cuentas.
- Remitir anualmente a la SEN los balances generales, inventarios, el informe general presentado a la asamblea general de accionistas, etc., y demás documentos de su contabilidad que señale el reglamento.
- Mostrar al personal de la SEN libros y documento: anexos a su contabilidad (artículo 20).

Los concesionarios de un servicio público gozarían de exención de derechos de importación sobre maquinaria por sólo una vez siempre y cuando esta no se produjera en el país (artículo 22).

Los concesionarios “deberían separar anualmente de sus ingresos las cantidades necesarias para constituir el fondo de retiros o reemplazos.” La SEN tomaría en

cuenta para fijar esas cantidades las condiciones de los bienes destinados a los fines de la concesión. La SEN sería quien autorizase a los concesionarios en los términos del reglamento, la emisión de acciones, obligaciones etc., y para la contratación de obtención de capitales (artículo 28).

Igualmente, se necesitaría la autorización de la dependencia mencionada para la ejecución de cualquiera de las obras e instalaciones de la industria eléctrica (artículo 30).

La SEN inspeccionaría toda obra e instalación (artículo 44) y realizaría todas las actividades de vigilancia (artículo 45), a fin de comprobar si se ajustaban a las normas técnicas prescritas por la ley, su reglamento o las disposiciones de la SEN.

Las tarifas serían determinadas por la SEN, de acuerdo con lo que estableciera el reglamento “y sobre la base de una utilidad razonable al concesionario”(artículo 37). La venta de energía eléctrica se otorgaría conforme a las tarifas (y contratos) fijados por la SEN, la cual estaba facultada para revisarlas y fijar las nuevas (artículo 36).

Asimismo, no podría venderse ni utilizarse en la República mexicana ningún aparato eléctrico diferente en sus características esenciales a los de los tipos aprobados por la SEN (artículo 51). Los aspectos que tocaban directamente a la CFE eran: la SEN no otorgaría concesiones, si hubiera duplicación anti económica o si estuvieran en desacuerdo con los planes de electrificación que formulase la CFE (artículo 12). Y si la CFE requiriera conforme a los artículos 5 y 6, obtener concesiones o permisos, la SEN podría eximirla de llenar alguno o todos los requisitos que marcan esta ley y su reglamento, a excepción de los de control técnico, vigilancia y policía (artículo 23).

### **1.10 Desarrollo económico y crecimiento de la industria eléctrica.**

Las medidas político-jurídicas tomadas durante el cardenismo, aunadas a la expropiación de la industria petrolera en marzo de 1938, provocaron desaliento de la inversión privada en la industria eléctrica. A partir de 1939 se observa una sensible disminución de la inversión privada, que en esos momentos era totalmente mayoritaria en el sector eléctrico. Esto se reflejó en el ritmo de crecimiento de la capacidad instalada, que de 1939 a 1943 se estancó en 680 mil kW. Incluso la aportación en valor del PIB-electricidad al PIB-nacional disminuyó en forma drástica.

PIB-electricidad/PIB-nacional

(Millones de pesos, base 1970)

| Años        | PIB-Nacional<br>(Promedio) | PIB-Electricidad<br>(Promedio) | % De<br>Participacion |
|-------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| 1934 - 1938 | 60,751                     | 146                            | 0.91                  |
| 1939 - 1944 | 94,345                     | 136.6                          | 0.145                 |
| 1945 - 1949 | 103,659                    | 273.4                          | 0.264                 |

*Fuente Banco de México, informes Anuales*

Pero el desarrollo económico requería un apoyo acrecentado del sector eléctrico, que la industria privada no podía en esas condiciones proporcionar. Ya no bastaba que el Estado buscara compaginar, en forma genérica el interés privado de las empresas eléctricas y el "interés público". Impedir el encarecimiento de las tarifas, o el control sobre las concesiones, resultaban medidas insuficientes y el Estado empezó a participar cada vez como productor de energía eléctrica.

Lo que estaba en juego era la industrialización del país como parte de un proyecto nacional que partía del Estado, y la lógica sectorial de la ganancia en las empresas eléctricas privadas. Esta contradicción se fue resolviendo paulatinamente, con una mayor intervención del Estado como inversor directo en la generación de electricidad y finalmente con la nacionalización de la industria en 1960.

En la fecha posterior a la crisis de inversión en la industria eléctrica, se dieron los índices de crecimiento más altos en la historia de la industria eléctrica privada, solo comparables con los de la década de 1960-1970, aunque los de la CFE y los de la Chapala ganaron con mucho al crecimiento privado. El alto crecimiento fue sostenido de 1945 hasta 1955, llegando en todos los casos a superar el índice de crecimiento anual del PIB nacional. De 1930 a 1955, a pesar de las vicisitudes, creció más de seis veces la planta instalada. El salto más alto en el crecimiento fue de 1945 a 1955. Es evidente el gran esfuerzo realizado por la compañía Mexicana de 1945 a 1955, así como el de la Compañía Impulsora de Empresas Eléctricas de 1945 a 1950, y el de la Compañía Eléctrica de Chapala de 1945 a 1950; pero el mayor esfuerzo lo realizó la CFE que logro las más altas tasas de crecimiento en franca ventaja respecto de las demás y en menor tiempo.

En el periodo de crisis de 1940 a 1945. El crecimiento en las termoeléctricas fue de cero; ese hecho coincidió con el congelamiento de inversión privada, y por el contrario la tasa de crecimiento de las plantas hidroeléctricas fue del 10% respecto del quinquenio anterior.

El crecimiento en valor absoluto de la capacidad instalada total en 1945, respecto de 1940, fue de 40 mil kW. La CFE desde sus inicios y al menos hasta 1955 registra una tendencia a especializarse en plantas hidroeléctricas y las empresas privadas en termoeléctricas. Cuando crece la industria privada en capacidad instalada, la capacidad en plantas termoeléctricas crece en el mismo sentido. La CFE realizó grandes proyectos eléctricos que se iniciaron con la construcción de la planta de Ixtapantongo en 1944, y que culminó con la gran planta "El infiernillo" en 1965.

La causa de esta división entre industrias privadas y la CFE pudo ser el alto costo de inversión inicial que requiere la instalación de plantas hidroeléctricas, contra la relativa baja inversión inicial en termoeléctricas.

Si bien la tendencia hacia la construcción de grandes plantas y equipos se refiere no solo a hidroeléctricas, sino también a termoeléctricas, lo cierto es que los máximos grados de crecimiento en capacidades y producción se logró en plantas hidroeléctricas sin tomar en cuenta los beneficios derivados hacia la capitalización de tierras agrícolas, no queremos afirmar que la CFE solo se haya dedicado a la creación de obras hidráulicas en esta etapa.

La ganancia privada rehuía la lenta recuperación de la inversión inicial de las plantas hidroeléctricas, no obstante su bajísimo costo de operación y se inclinaba por una ganancia más rápida y fácil al intervenir en plantas termoeléctricas. El estado, en cambio a su carácter de "acumulador social" y como parte de su política social, con sus grandes montos de venta de energía en bloque, trataba de beneficiar no solo a la industria privada y a su sector agrícola sino también a sectores amplios de la población.

El destino de la inversión pública autorizada para este sector fue del orden de 26 millones de pesos (base 1970) en 1939, era realmente insignificante debido a que la inversión pública nacional fue en ese mismo año de 2065 millones de pesos (base 1970), correspondiendo al primero dentro del segundo solo un 1.25%. Antes de 1944 no se puede hablar categóricamente de que la inversión pública hacia el sector eléctrico sea significativa debido a que desde 1917 hasta 1941 el estado ponderaba más en este aspecto su forma de regulación jurídica o de simple arbitrio interclase. Por el contrario la inversión pública autorizada hacia el sector eléctrico es sumamente irregular, tanto en crecimiento como en decrecimientos.

El máximo crecimiento tanto en la tasa de inversión del sector como la capacidad instalada y en el capital fijo se dio en el decenio de 1945 a 1955. El apoyo del estado a las compañías privadas fue determinante en esta etapa.

### **1.11 Las empresas eléctricas en México entre 1940 y 1959.**

En los años cuarenta se abría una nueva etapa en la historia de las empresas eléctricas caracterizada por:

- a) El término del desarrollo autofinanciado de las empresas privadas y el inicio de otro, en donde el financiamiento directo o indirecto por parte del Estado en la rama fue central para su desarrollo.
- b) El cierre del periodo de exclusividad de las empresas privadas en la producción de energía eléctrica.

En 1940 Nacional Financiera compró las acciones de la compañía Eléctrica Chapala. S.A., y las transfirió a la recientemente creada Nueva Compañía Eléctrica Chapala —constituida con un capital de tres millones de pesos de ese modo se convirtió en una sociedad anónima de participación estatal, con capital netamente mexicano y con una capacidad nominal de 24 mil 200 kW. A finales de 1950 su capacidad nominal ascendió a 98 800 kW, gracias a las plantas que comenzaron a operar en ese lapso; la de Zapopan, planta de vapor inaugurada en 1948, con una capacidad de 10 000 kW y la hidroeléctrica de Colimilla con una capacidad de 51 200 kW.

Otras compañías menores fueron compradas también por el gobierno ese mismo año e incorporadas a este grupo, tal es el caso de la Compañía Eléctrica Morelia. S.A., cuyas plantas a esa fecha eran las de San Pedro, las de la división Morelia con tres unidades y con una capacidad total de 1265 kW; la de San Pedro división Uruapan con dos unidades y capacidad total de 390 kW; la de San Juan en la división anterior, con dos unidades y capacidad total de 240 kW y la de Los Reyes, en la división Los Reyes, con dos unidades y capacidad total de 550 kW.

En 1944 su capital era de 1 millón 700 mil pesos. También adquirió la Compañía Eléctrica Guzmán, S.A., que contaba con la planta antigua de Piedras Negras, con dos unidades de 360 kW en total, y la planta nueva de Piedras Negras con dos unidades de 520 kW en total. Su capital en 1944 era de 180 mil pesos. Otro tanto hizo con la compañía Hidroeléctrica Occidental, S.A., que contaba con una planta hidroeléctrica de 180 kW. En 1944 su capital era de 500 mil pesos. Otras compañías también adquiridas fueron El Progreso, S.A. y Electra.

El gobierno federal realizó la compra de las empresas mencionadas mediante acuerdo firmado por el presidente Lázaro Cárdenas, el 7 de mayo de 1940, y con financiamiento otorgado a través de Nacional Financiera.

Por su parte la CFE en 1940 instaló dos plantas de 100 kW cada una, la de Altar y la de Ures, ambas en Sonora; así como la primera unidad de Bartolinas de Tacambaro, Michoacán, de tal forma que a finales de ese año la

Comisión contaba con una capacidad instalada de 800 kW, incluidas todas sus plantas.

De esta forma el Estado producía en esas fechas considerando además de la CFE al grupo de la Chapala- alrededor de 28-29mil kW (que representaban el 21.4% del total de la República).

Con toda esta capacidad productiva de la CFE aún era muy pobre y además la Chapala y las otras compañías menores tenían una diferencia sustancial entre capacidad nominal y efectiva. La puesta en marcha de la primera unidad de la planta de Ixtapantongo, el 30 de agosto de 1944, con una capacidad de 28 000 kW destinados a surtir a la ciudad de México y zona centro del país, a través de la venta en bloque de energía a la CM de LyFM, fue un éxito en la historia de la industria eléctrica y de la intervención del Estado en la actividad productiva del país. El rendimiento de esta planta en su primer año de operación fue de un 94%, el más alto de todos los sistemas sin embargo, las operaciones mencionadas con la Mex-Light nunca fueron transparentes, pues los contratos establecidos no se dieron nunca a conocer públicamente."

Hasta 1945 habían sido invertidos por la CFE 50 millones de pesos; en 1946 con el préstamo del Banco de Export e Import de Washington, se instalaron 18 758 kW, y autoridades de la CFE anunciaban que en tres años serían instalados por la Comisión 295 340 kW más. Para el 30 de agosto de 1950, la CFE contaba ya con una capacidad total de 165 281 kW, de los cuales 93 778 correspondían a las hidroeléctricas, 50 500 a las de vapor, 6 828 a las de diésel y 14 175 a las móvil diésel. Las plantas más importantes eran la de Ixtapantongo, México, con 56 mil kW; la de Santa Bárbara, México, con 22 525 kW y la de Gómez Palacio Durango, con 25 mil kW.

Para 1950 la CFE había concedido préstamos por alrededor de 85 millones de pesos a 17 empresas privadas de energía eléctrica, entre las que destacan la Compañía Mexican Meridional de Fuerza. S.A., la Compañía Eléctrica de Monclova, S.A., la Compañía Eléctrica Fronteriza, S.A., la Nueva Compañía Eléctrica de Chapala S.A., la Compañía Mexicana Productora de Luz y Fuerza, S.A., y la Compañía Eléctrica de Tuxpan (Veracruz) S.A. Para la fecha mencionada, la CFE ocupaba ya el segundo lugar entre las empresas productoras de energía eléctrica del país. En 1949 el 80% de la producción de las plantas de la CFE se destinaba a reforzar las necesidades de tres sistemas el de la CM de LyFM, el Torreón-Laguna-Chihuahua y el Puebla-Veracruz. El 10.5% se entregaba a siete empresas de segunda importancia y el 9.5% restante se distribuía entre los pequeños sistemas y plantas aisladas operadas por la Comisión.

De 1950 a 1959 se inauguraron importantes plantas: Dos Bocas con 24 500 kW; La Laguna, con 55 000 kW; Chihuahua, con 45 000 kW; Santa Bárbara, con otros 45 050 kW; Tingambato, con 135 000 kW; 50 000 kW más en Ixtapantongo; Teomaxcal, con 105 560 kW; el Durazno, con 18 000 kW; Tepazolco, con 10 880 kW; Playa Norte, con 10 500 kW; San Jerónimo, con 30 000 kW; El Cóbano, con 52 200 kW; Ciudad Obregón, con 15 000 kW; Guaymas, con 25 000 kW; Encanto, con 10 000 kW y otras de menor capacidad.

### **1.12 Cambio tecnológico de la Industria eléctrica.**

El nivel tecnológico de la industria eléctrica en México puede analizarse de acuerdo con las fases de generación (hidroeléctrica y termoeléctrica), transmisión y distribución de la energía (dejando de lado los procesos de construcción y la administración y comercialización).

En cuanto a la generación, los criterios principales de cambio tecnológico, además del tipo de fuente de energía, pueden ser sintetizados en dos principales: primero, el crecimiento de las capacidades y los equipos principales en la generación y segundo, los niveles de automatización. Durante el periodo de 1944 a 1960, el cambio tecnológico principal en la industria eléctrica fue de origen hidráulico y térmico está vinculado al incremento en las capacidades de generación de las plantas. Este cambio tecnológico se relaciona con el crecimiento en general de la industria eléctrica, ante el incremento de la demanda industrial y doméstica, principalmente. En este cambio jugó un papel muy importante el estado, con su fomento en la generación en particular a través de la CFE, que se convirtió en constructora de grandes hidroeléctrico.

### **1.13 Cambio tecnológico en las centrales termoeléctricas.**

La Comisión Federal de Electricidad, un año después de expedida la ley de 1937 que la constituyó formalmente, instaló una unidad termoeléctrica de 64 kW de potencia en Teloloapan, Guerrero. Posteriormente, en 1938, “se construyó una planta termoeléctrica de 38 kW en Pátzcuaro, Michoacán, y se extienden los trabajos para poner en operación la planta térmica de Xia, en Oaxaca, con una capacidad de 85 kW”. Tanto en los inicios de este tipo de generación como en el presente, un criterio definitorio de la instalación era la posibilidad de ubicar estas centrales en lugares cercanos a los centros de consumo, cuestión que adquiría especial relevancia en los momentos en que el sistema eléctrico nacional no se encontraba interconectado.

La búsqueda de una mayor eficiencia de las centrales térmicas con poca capacidad, que se expresa en los costos de operación y de generación, ha conducido a la utilización de las ventajas propias de la economía de escalas. De ese modo, las primeras centrales térmicas, con poca capacidad generadora y que empleaban numeroso personal, han sido desplazadas paulatinamente por Centrales Termoeléctricas de grandes dimensiones y capacidades.

La lógica de la economía y la eficiencia han tenido su correlación en las características técnicas del equipo principal. Con respecto a la caldera, los datos del cuadro de la nota anterior muestran que desde los inicios de la generación termoeléctrica hasta los principios de la década de los sesenta las capacidades de la caldera se movieron dentro del rango de 13 ton/hora hasta 79 ton/hora, con excepción de la unidad 1 de la central Franckie, cuya caldera tiene una capacidad de 159 ton/hora. Asimismo, las presiones que podían manejar las calderas instaladas en este periodo (1930-1960) se encontraban por debajo de los 64 kg/cm<sup>2</sup>. Para el periodo siguiente (1960-1970), tanto las capacidades como las presiones manejables aumentaron en forma notoria: la caldera de la unidad 2 de la central Valle de México, puesta en operación en 1970, alcanza una capacidad de 504 ton/hora, y una presión de 132.88 kg/cm<sup>2</sup>. Por último, las calderas de las centrales más modernas rebasan con mucho los índices alcanzados hasta entonces; un ejemplo de ello es la caldera de la unidad 3 de la central Mazatlán, que habiendo sido puesta en operación en febrero de 1981 alcanza una capacidad de 975 ton/hora y una presión de 198 kg/cm<sup>2</sup>.

Las unidades instaladas durante los años sesenta, por su parte, manejan en promedio una presión de 86 kg/cm<sup>2</sup>, esto es, casi tres veces la correspondiente al momento previo. Por último, en las centrales que tienen menos de 15 años de antigüedad, la presión que manejan las turbinas es en promedio de 145 kg/cm<sup>2</sup>, exceptuando la turbina de la central Nachi-Cocom II, que no obstante al haber sido instalada en 1972 es de una capacidad reducida.

Para finalizar veamos las características técnicas de los generadores, entre 1930 y 1960 los generadores, con excepción de la central de Celaya, no alcanzan la capacidad de 10 000 kW, mientras que en la década de los sesenta dicha capacidad se elevó hasta los 158 000 kW en el caso de la central del Valle de México hacia mediados de la década de los sesenta se inicia la puesta en operación de las grandes centrales termoeléctricas, y un ejemplo de ello es la central Francisco Pérez Ríos (Tula), que tiene una capacidad de generación de 300 000 kW por cada una de sus unidades. En la actualidad dicha central tiene en operación cinco unidades generadoras que suman un total de 1 500 000 kW de potencia instalada. A partir de este momento las nuevas centrales puestas en operación han sido equipadas, por lo general, con generadores con una capacidad

similar. Como ya se señaló anteriormente, la tendencia que se percibe en este tipo de generación es la instalación de unidades con capacidades mínimas de 300 000 kW.

#### **1.14 El cambio tecnológico en la generación hidroeléctrica.**

Hacia 1935, cuando la CFE era más un buen plan que una acción efectiva, la generación hidroeléctrica participaba con más del 60% en la generación total de la energía eléctrica del país; al momento de la nacionalización, en 1960, los trabajadores de las centrales hidráulicas generaban poco más del 40%; en nuestros días, este tipo de generación aporta entre el 20 y el 25% del total de la energía eléctrica del país (pese a que las centrales hidráulicas no cuentan entre sus contabilidades con el rubro específico de `combustibles', salvo el caso del aceite necesario para lubricar y dar mantenimiento al equipo, pues la turbina generadora recibe el impulso del agua en su caída). Aunque la generación hidroeléctrica no consume recursos no renovables, ha sido desplazada a lo largo de los últimos 50 años por la generación térmica. Dos elementos adquieren especial relevancia al respecto: los costos para realizar desde los estudios hasta la instalación, pasando por largos años de construcción de presas, canales, túneles y bóvedas subterráneas, hacen que la inversión inicial para las centrales hidroeléctricas sea muy elevada; además, la conformación de los proyectos de desarrollo en el sector eléctrico se han relacionado primordialmente con la exigencia de satisfacer determinadas exigencias inmediatas, y en virtud de ello las centrales térmicas, que se instalan en promedio en dos años y con mucho menor inversión inicial, han adquirido mayor relevancia con el paso del tiempo.

Pese a lo referido, la historia de la generación hidroeléctrica en nuestro país tiene más de un siglo, y en ese tiempo las antiguas presas que abastecían a centros específicos de consumo han sido sustituidas por construcciones de las dimensiones de Chicoasén, Infiernillo o la Angostura. Y no sólo se han incrementado las potencias del equipo, sino que a la par se han desarrollado sistemas más efectivos para controlar el proceso de generación y para automatizar algunos de sus momentos. Incluso existen centrales que operan en la actualidad por medio de controles remotos: los únicos obreros que ahí trabajan son los de mantenimiento, pues las máquinas se encienden, sincronizan, detienen o salen de operación en forma automática.

Desde finales del siglo pasado, cuando se instalaron las primeras centrales hidráulicas (ch), los equipos tenían niveles de eficiencia muy por debajo de los vigentes en la actualidad. Eran centrales que trabajaban con elevados costos de operación, derivados principalmente por efecto de los salarios y las prestaciones al

personal empleado. Esto último es de especial importancia, dado que en la generación hidráulica no se consumen combustibles, y por ello los costos de generación se encuentran definidos principalmente por la parte variable del capital." Durante las primeras tres décadas de este siglo, las cii puestas en operación se diferenciaban poco unas de otras en cuanto a sus capacidades de generación. No es sino hasta la construcción de las centrales del sistema Miguel Alemán, en Ixtapantongo, cuando aparece la primera central hidroeléctrica de grandes dimensiones. Con el sistema Miguel Alemán se inició propiamente la historia de las turbinas verticales en nuestro país. Posteriormente se instalaron turbinas de eje horizontal, como en la central José Cecilio del Valle, pero su capacidad no podía compararse con la de centrales como la de Ixtapantongo. Podemos entonces decir que un primer momento en el desarrollo tecnológico lo representa la construcción de la central Ixtapantongo, en 1944, cuando se inició la operación de la central con mayor altura en ese entonces: sus 320 metros impusieron un récord mundial en su tiempo.

A partir de ahí iniciarían otros proyectos uno de ellos fue la construcción de la central Mazatepec, que entró en operación en 1962 y tiene un altura bruta de 516 metros. Un primer dato es evidente: las capacidades de las turbinas en este periodo son mucho más pequeñas que en los siguientes,

Asimismo, en el primer periodo dominan las turbinas de tipo horizontal que poseen niveles de rendimiento menores que las de tipo vertical. Finalmente, el consumo específico, es decir: el nivel de aprovechamiento de la energía del agua para transformarla en energía eléctrica, se ha reducido con el paso del tiempo: la central Portezuelo 11, que comenzó a generar en 1908 y se encuentra actualmente fuera de operación, requería 12.9 metros cúbicos para generar cada kWh; la central Ixtapantongo, por su parte, redujo ese consumo específico hasta  $1.33 \text{ m}^3$  por kWh."

Con respecto al generador eléctrico, se aprecia que la potencia de los generadores en el periodo 1898-1943 se mueve en el rango de 6 250 a 132 kW, excepción hecha de la central Tuxpango. Para el siguiente periodo dicho indicador se ubicó entre los 500 y 160 000 kW, y para el último periodo la capacidad de los generadores se elevó hasta los 6 000 y 315 000 kW. Idéntica situación se presenta con el voltaje de generación. En este proceso de desarrollo tecnológico, la adquisición del equipo hidráulico ha sido asimilada y perfeccionada por la ingeniería mexicana. En los primeros años de la generación hidráulica las características del diseño del equipo principal dependían casi en forma exclusiva de los criterios del fabricante.

### **1.15 La fuerza de trabajo en la industria eléctrica.**

El crecimiento en la capacidad de generación de la industria eléctrica, del periodo de 1940 a 1960, se compaginó con un incremento en el número de trabajadores empleados. Éstos casi se cuadruplicaron en esos 20 años, en tanto que la capacidad de generación se quintuplicó: esto nos habla de un incremento de la productividad en el periodo, aunque no tan importante como para pensar que los sistemas de máquinas o las formas de organización del trabajo hayan cambiado en forma radical con respecto a los 20 años anteriores —la productividad pasó de 0.418 GWh/trabajador en operación en 1940 a 0.535 en 1960—. Esto nos habla probablemente de un estancamiento tecnológico y en la organización del trabajo de las primeras y de modernidad en la segunda. Aunque, como hemos visto, hubo un crecimiento en el tamaño de las plantas es probable que se continuase operando en las privadas en forma semejante al periodo anterior —el cambio tecnológico sustancial no vendrá hasta principios de los setenta, con la automatización.

Es notable el crecimiento en personal de la CFE en comparación con los otros grupos. Entre 1939 y 1950, la CFE incrementó su personal en 546%, contra 86% de la CMLF, 141% de la Chapala y sólo 12% de la Impulsora de Empresas Eléctricas. Sin embargo, en ese año la CMLF seguía siendo la compañía que más personal empleaba, seguida por Impulsora.

Al observar el crecimiento del personal empleado en los principales grupos financieros encontramos que el total pasó de 6 741 en 1941 a 14 110 para 1953, esto es, tuvo un incremento del 209.31%; sin embargo, hubo un mayor crecimiento entre el personal dedicado a las áreas de operación (plantas, subestaciones y líneas de transmisión) que pasó de 2 911 en 1941 a 7 488 para 1953, siendo su crecimiento de 257.23%, mientras que el personal dedicado a las tareas de administración, distribución y otros, sólo tuvo un crecimiento de 172.89%, al pasar de 3 830 trabajadores en 1941 a 6 622 en 1953.

En cuanto a la composición de ambos grupos de trabajadores respecto al total, observamos que los trabajadores de plantas, subestaciones y líneas de transmisión constituían el 43.18% del total en 1941, mientras que el porcentaje restante 56.81%, estaba representado por trabajadores de administración, distribución y otros; en tanto que para 1953 los trabajadores de plantas, subestaciones y líneas de transmisión aumentaron su participación respecto al total, pues constituyeron el 53.06% del mismo, mientras que el personal dedicado a la administración, distribución y otros disminuyó, siendo el 46.93% restante.

### **1.16 La nacionalización.**

En 1958 el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF) concedió el último crédito internacional importante antes de la nacionalización. Las empresas privadas sabían que la CFE presentaría una nueva solicitud de crédito al BIRF para financiar el programa de expansión 1959-1963: también estaban enteradas de que las agencias internacionales de financiamiento exigían para conceder cualquier nuevo préstamo que se realizara una revisión completa de la estructura de tarifas. Sin embargo, no se preveía que el Estado empezara a actuar en este sentido. Mientras tanto, las empresas privadas que hacia mediados de los cincuenta habían diseñado nuevos programas de expansión, "dejaban pasar el tiempo y dependían cada vez más de la energía generada por la CFE". Llegado a este callejón sin salida, "las grandes empresas eléctricas empezaron a pensar seriamente en la posibilidad de vender todos sus activos al gobierno mexicano, sobre la base de que pudiera llegarse a un acuerdo sobre un valor de venta adecuado.

En los años previos a la nacionalización de la industria eléctrica la CFE había venido adquiriendo numerosas empresas eléctricas; algunas de estas adquisiciones las llevó a cabo debido al mal servicio, deficiente operación o falta de capital para ampliaciones y en no pocas ocasiones con ventajas mutuas para más planes. Tales fueron los casos de las compras de las concesiones del servicio en Oaxaca, Campeche, San Cristóbal de las Casas, Zamora, Hidalgo, Sabinas, Los Mochis, Fresnillo, Hermosillo y todo el sistema sur y occidente de Sonora; así como el de Nuevo Laredo, en donde la junta de mejoras materiales lo trasladó a la CFE (por cierto que otras juntas de mejoras como la Acapulco siguieron conservando su manejo).

Al momento de la nacionalización la CFE contaba con diez divisiones de operación, distribuidas en toda la República, que desempeñaban las funciones de generación y distribución de energía eléctrica. Una vez nacionalizada la industria eléctrica, el Estado se enfrentó a la necesidad de aumentar la producción y la calidad de dicha industria. Este imperativo provocó discusiones en cuanto a la organización de la industria, la interconexión de sistemas, el estado en que se encontraban las instalaciones, la fusión en un solo sindicato de los trabajadores de las distintas empresas eléctricas, etcétera.

De ese modo, el 7 de noviembre de 1960, en una conferencia organizada por el Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas, Guillermo Martínez Domínguez decía que:

“En los próximos lustros nos van a pesar mucho los vejestorios que hemos acumulado en plantas-museos de generación en numerosos lugares, Maquinas

pequeñas, desiguales, de diversos diseños, de baja eficiencia, de altos costos de operación, innatamente rebasados por los adelantos técnicos, y sin capital para reponerlos. La CFE no es en sus condiciones actuales (subrayado por el autor) una fuente de financiamiento o de aportaciones para el crecimiento de la industria eléctrica como quiere la Presidencia.

En cuanto a los subsidios a la industria eléctrica, Martínez Domínguez decía en la mesa redonda de 1960 que la CFE basaba su crecimiento en subsidios del gobierno federal, en aportaciones de otras entidades y en el impuesto del 10% sobre el consumo. Y se manifestaba en contra de que la industria eléctrica nacionalizada fuera financiada con base en subsidios federales por ser poco equitativo, ya que todos los mexicanos, incluyendo "a la mitad que vive a oscuras y que probablemente no dispondrá de electricidad en muchos años todavía", se verían afectados por estos subsidios: propugnaba un rendimiento mínimo anual que permitiese la conservación y el desarrollo de la industria eléctrica, y que éste fuera, para las tres grandes empresas, del 12% anual sobre su patrimonio. De esta manera el subsidio federal tendería a ser decreciente pero, añadía, "... es indispensable, simultáneamente, articular financiamientos especiales para el abastecimiento eléctrico de las industrias más productivas que se alientan en los programas nacionales. No debe forzarse su financiamiento al revés."

Inmediatamente después de la nacionalización, la opinión generalizada era contraria al aumento de tarifas, pero a mediados de 1961 en los medios oficiales empezó a manejarse la necesidad de tal cosa, a fin de expandir el servicio; sin embargo, se esperó a conocer el dictamen del comité especial establecido a fin de examinar las consecuencias financieras de la nacionalización, cuando se empezó con la consulta al sector privado, a finales de 1961.

A mediados de enero de 1962 se modificó la estructura tarifaria de acuerdo con las recomendaciones del comité especial, empresarios, trabajadores y consumidores estuvieron conformes.

La interconexión de frecuencias fue un tema que empezó a discutirse inmediatamente después de la nacionalización. En noviembre de 1960, dos meses después de la nacionalización de la industria eléctrica, los organismos y las empresas patrimoniales del Estado procedieron a elaborar un plan nacional de electrificación para el periodo 1960-1980. Por último, el aspecto laboral que planteaba la unificación de sistemas, desde la óptica del Comité de Estudios para la Reestructuración de la Industria Eléctrica, muy ligado a la CFE y al secretario de Industria y Comercio, era abordado de la siguiente manera:

*El otorgamiento de personalidad jurídica a los organismos regionales, no sólo los capacita para satisfacer las necesidades de carácter técnico y administrativo que determinan su creación, sino que a la vez entraña la solución idónea e integral a un problema laboral que de otro modo se plantearía al organismo general suministrador en su carácter de patrón. En efecto, de no dotarse de personalidad moral propia a los organismos regionales, el organismo de nueva creación (o la CFE si subsiste), quedaría colocado en la situación de patrón único y consecuentemente en la situación prevista en el artículo 43 de la Ley Federal del Trabajo o sea: la de que existiendo en una misma empresa varios sindicatos, el contrato colectivo de trabajo deberá celebrarse con el mayoritario; pero—y en esto radica la gravedad del caso— no podrán concertarse en condiciones menos favorables para los trabajadores que las contenidas en los contratos en vigor dentro de ella.*

Dejando atrás el momento de la nacionalización de la industria y la necesidad del Estado de obtener consenso, no provocando a los consumidores con aumentos en las tarifas de energía eléctrica, el gobierno decidió reformar la estructura tarifaria y al mismo tiempo elevar las tarifas.

También el cambio de frecuencias fue un problema por el cual el Estado se interesó inmediatamente después de la nacionalización. En 1962 con la ayuda de la empresa Sofrelec de Francia recomendaba interconectar a corto plazo los sistemas eléctricos localizados al sur del paralelo 22. Sin embargo, la CFE y la CLFC contrataron los servicios de la compañía Bechtel de California, a fin de que precisen costo y organización del cambio de frecuencia. El estudio finiquitó en septiembre de 1963 con propuestas contrarias a las que hacía Sofrelec. Las conclusiones de tal estudio eran las siguientes:

1. Se requerirían menores inversiones para cambiar el sistema central a 60 ciclos que para unificar los sistemas al sur del paralelo 22 a 50 ciclos.
2. Los equipos (motores, transformadores y reactores) para trabajar a 60 ciclos eran menos costosos que los de 50.
3. Que la CFE y la CLFC modificaran sus propias instalaciones trabajando cada una con sus propios recursos técnicos y humanos.
4. La creación de un organismo para adaptar los equipos de los usuarios, independiente, con vida limitada por el tiempo que durase la unificación de frecuencias, con facultades para contratar los servicios del personal técnico-administrativo y los contratistas necesarios para realizar físicamente el cambio.
5. Este organismo funcionaría como coordinador entre usuarios, CFE y CLFC; estaría encargado de la labor de convencimiento a los consumidores."

En 1963 la CFE modificó su programa de obras: eliminó los proyectos de termoeléctricas en Minatitlán, Veracruz, y Salamanca, Guanajuato, y los sustituyó por la hidroeléctrica de Malpaso; esta modificación incluía el cambio o la unificación de frecuencias con el sistema central. La Secretaría de la Presidencia la aprobó el 30 de enero de 1964 (oficio V-64-226).

## **2 Conceptos Básicos para Instalaciones Eléctricas.**

Para llevar a cabo una instalación ya sea del tipo residencial, industrial o comercial, se requiere conocimiento de conceptos generales de electricidad que permiten entender mejor los problemas que se presentan en dichas instalaciones. El estudio de estos es material de otros temas de electricidad pero los abordaremos brevemente ya que son importantes para la realización de nuestro proyecto.

En la actualidad es común el uso de Instalaciones Eléctricas Subterráneas para servicios públicos lo cual en años pasados no era muy usual debido a tener un costo mayor en comparación con las aéreas, actualmente al ir creciendo rápidamente la demanda en instalaciones subterráneas, ya sean en alta, mediana o baja tensión, esto dejó de ser un problema, debido a que los beneficios que ofrecen son mayores, por ejemplo en los fraccionamientos habitacionales brindan mayor presentación al evitar todo el cableado en postes por lo cual es más seguro en caso de una falla en comparación a las líneas aéreas, por algunas de estas razones muchas líneas aéreas se han cambiado por subterráneas ya que en cuestión de costos están casi al mismo alcance.

En este capítulo describiremos los siguientes conceptos:

- Instalación eléctrica.
- Redes de distribución subterránea baja tensión.
- Normas de distribución.
- Partes de un circuito eléctrico.
- Corriente eléctrica.
- Medición de la corriente eléctrica.
- Voltaje o diferencia de potencial.
- Resistencia eléctrica.
- Ley de ohm.
- Potencia.
- Tipos de potencia.
- Triangulo de potencias.
- Factor de potencia.
- Factor demanda.
- Las leyes de Kirchhoff.
- La ley de Kirchhoff de corrientes.
- La ley de Kirchhoff de voltaje.
- Ecuaciones de malla.
- Análisis de las corrientes de rama.

- Análisis de las corrientes de malla.
- Análisis de las corrientes de nodo.

## **2.1 Instalación eléctrica.**

Una instalación eléctrica es el conjunto de elementos necesarios como canalizaciones, estructuras, conductores y dispositivos para conducir y transformar la energía eléctrica para que esta sea empleada en máquinas, aparatos receptores de esta para su utilización en los equipos conectados de una manera segura y eficiente. Las instalaciones eléctricas pueden ser abiertas (conductores visibles), subterráneas (en ductos o tubos), ocultas, (dentro de paneles).

Una instalación eléctrica debe cumplir con ciertos requerimientos generales y normas establecidas por la compañía eléctrica suministradora, algunos de estos requerimientos son:

- Seguridad contra incendios y accidentes.
- Eficiente y económica.
- Accesible y de fácil mantenimiento.
- Buena distribución.

## **2.2 Redes de distribución subterránea baja tensión.**

Las redes de distribución subterránea en baja tensión se encargan de llevar a los consumidores la electricidad en condiciones de ser usada para su beneficio. El trazado bajo tierra permite una elevada protección, pero, debido a los empalmes y uniones que se realizan, así como a las derivaciones, se deben mantener las condiciones idóneas para asegurar la calidad del suministro.

El conocimiento de los elementos de que consta una instalación eléctrica subterránea es fundamental debido a que, al ser estas no visibles, las operaciones de detección de fallas y reparación se deben realizar "a ciegas". Con los instrumentos de medición y verificación eléctrica que se encuentran en la actualidad, las labores de mantenimiento y revisión de las condiciones en que se encuentran las redes se realizan con seguridad y rapidez. El diagnóstico y localización de las averías se realiza con estos instrumentos, de manera organizada y sistemática, detectando rápidamente la situación exacta del corte o pérdida de aislamiento en la línea. Las medidas para llevar a cabo los mantenimientos pueden ser de tipo predictivo, preventivo o correctivo, en los que, según la política de la empresa, se elige la forma más adecuada al tipo de instalación. Las revisiones reglamentadas se realizan con instrumentos

termográficos o de reflectometría, pero en todo caso, cumpliendo con las actuaciones obligadas que se indican en los reglamentos oficiales, en cuanto a permisos y proyectos técnicos que aseguran que las obras se realizan en condiciones de seguridad para las personas e instalaciones.

Las inspecciones de mantenimiento deben quedar reflejadas en informes en los que se evalúen las acciones que se han realizado, para conseguir en un futuro reducir las operaciones, consiguiendo en las que se realicen una eficiencia en reducción de tiempos empleados.

### **2.3 Normas de distribución.**

Las primeras Normas Nacionales se editaron en 1974 y estuvieron vigentes hasta el 20 de noviembre de 1992, la segunda edición estuvo vigente hasta el 5 de marzo de 1997, la tercera edición estuvo vigente hasta 1 de mayo del 2002, la cuarta edición estuvo vigente hasta 11 de marzo del 2005, la quinta edición estuvo vigente hasta el 21 de agosto del 2008; actualmente a treinta y cuatro años de la implantación de las primeras Normas Nacionales se presenta su sexta edición, la cual incorpora los avances tecnológicos que han permitido, la modernización de las técnicas de construcción, así como el empleo del materiales, equipos y accesorios más eficientes, que permiten abatir costos, sin menoscabo de la confiabilidad y seguridad que proporcionan los Sistemas Subterráneos.

Para la optimización de los proyectos, se incorpora la herramienta de diseño y configuración de redes de distribución subterránea de baja tensión asistida por computadora "Conjunto Transformador Red Secundaria" CTRS, la cual facilita el diseño de redes optimizadas, considerando demanda, pérdidas de energía eléctrica, costos de inversión y operación. En la sección correspondiente a alta tensión se incluyen consideraciones técnicas para su diseño, obra civil y electromecánica, así como animaciones que muestran la elaboración de empalmes y terminales de las principales tecnologías que actualmente se emplean en CFE.

Esta actualización considera los comentarios y aportaciones a la versión anterior durante su vigencia y los derivados de los Congresos en Sistemas de Distribución Subterránea, de parte de fabricantes, desarrolladores, contratistas y personal de CFE de todo el país.

Las normas de distribución para construcción subterránea son las siguientes, las cuales no describiremos ya que son muy extensas.

- Generalidades
- Diseño y proyecto en media y baja tensión.
- Construcción en media y baja tensión.

- Especificaciones de obra civil y catálogo de equipo, materiales, accesorios y herramientas en media y baja tensión.
- Planos.
- Diseño y proyecto alta tensión.
- Especificaciones de obra civil y catálogo de equipo, materiales, accesorios y herramientas alta tensión.
- Planos.

#### **2.4 Partes de un circuito eléctrico.**

Todo circuito eléctrico práctico, sin importar qué tan simple o qué tan complejo sea, requiere de cuatro partes básicas:

- a) Una fuente de energía eléctrica que puede forzar el flujo de electrones (corriente eléctrica) a fluir a través del circuito.
- b) Conductores que transporten el flujo de electrones a través de todo el circuito.
- c) La carga, que es el dispositivo o dispositivos a los cuales se suministra la energía eléctrica.
- d) Un dispositivo de control que permita conectar o desconectar el circuito.

Esto lo podemos complementar con un ejemplo, una lámpara de mesa puede estar conectada a un contacto, pero la lámpara no enciende hasta que el switch se ponga en posición de encendido, cerrando el circuito y dando paso a la corriente de la fuente (contacto) a la carga lo que produce el encendido de la lámpara,

Por lo general, los conductores de cobre usados en las instalaciones eléctricas son alambres de cobre; se pueden usar también alambres de aluminio. Cuando el dispositivo de control o (switch) está en posición de abierto no hay circulación de corriente o flujo de electrones; la circulación de corriente por los conductores ocurre cuando se cierra el (switch). La carga puede estar representada por una amplia variedad de dispositivos como lámparas (focos), parrillas eléctricas, motores, lavadoras, licuadoras, planchas eléctricas, etc.

#### **2.5 Corriente eléctrica.**

Se conoce como corriente eléctrica a la magnitud que indica cuanta cantidad de electricidad es recorrida en un conductor en un periodo de tiempo esto es importante al trabajar con circuitos eléctricos ya que es necesario conocer la capacidad de conducción de electrones a través del circuito, es decir, cuántos electrones libres pasan por un punto dado del circuito en un segundo (1 Seg.) A la capacidad de flujo de electrones libres se le llama corriente y se designa, en general, por la letra  $I$ , que indica la intensidad del flujo de electrones; este flujo de acuerdo a lo establecido por el **Sistema Internacional de Unidades**, es aquel

sistema de medición que adoptan la mayor parte de los países del planeta, **se mide en lo que se denomina amperios**, cuando una cantidad muy elevada de electrones ( $6.24 \times 10^{18}$ ) pasa a través de un punto en un segundo, se dice que la corriente es de 1 Ampere. Otra definición puede ser que la corriente eléctrica es la consecuencia del movimiento que presentan los electrones que se hayan dispuestos en el interior del material en cuestión.

## **2.6 Medición de la corriente eléctrica.**

Una vez habiendo definido que la corriente eléctrica es un flujo de electrones a través de un conductor, debido a la intervención de electrones, y ya que éstos son invisibles nos sería imposible contar cuántos de ellos pasan por un punto en un circuito en un periodo de tiempo. Existe un instrumento de uso muy extendido a partir del cual se puede efectuar la medición de una corriente eléctrica este es el **galvanómetro**. Este mismo genera una deformación en cuanto a la rotación de la aguja cuando detecta la presencia de la corriente eléctrica en su bobina. Cabe destacarse, que la bobina es de forma rectangular y por ella es por donde circulará la corriente que se quiere medir; además, está suspendida en un campo magnético vinculado a un imán, entonces, esto provocará que el ángulo de rotación de la bobina sea proporcional a la corriente que la atravesará. A este instrumento cuando se halla **calibrado en amperios se lo conoce como amperímetro**, miliamperímetro, o micro amperímetro, dependiendo del rango de medición requerido, estos aparatos indican directamente la cantidad de corriente (medida en amperes) que pasa a través de un circuito.

Generalmente, los amperímetros tienen diferentes escalas en la misma carátula y por medio de un selector de escala se selecciona el rango apropiado. Dado que un amperímetro mide la corriente que pasa a través de un circuito se conecta "en serie", es decir, extremo con extremo con otros componentes del circuito y se designa con la letra A dentro de un círculo. Tratándose de medición de corriente en circuitos de corriente continua, se debe tener cuidado de conectar correctamente la polaridad, es decir que, por ejemplo, el punto de polaridad negativa del amperímetro se debe conectar al punto de polaridad negativa de la fuente o al lado correspondiente en el circuito.

## **2.7 Voltaje o diferencia de potencial.**

Cuando una fuente de energía eléctrica se conecta a través de las terminales de un circuito eléctrico completo, se crea un exceso de electrones libres en una terminal, y una deficiencia en el otro; la terminal que tiene exceso de electrones tiene carga negativa (-) y la que tiene deficiencia carga positiva (+). En la terminal cargada positivamente, los electrones libres se encuentran más espaciados de lo normal, y las fuerzas de repulsión que actúan entre ellos se reducen. Esta fuerza de repulsión es una forma de energía potencial; también se le llama energía de

posición. Los electrones en un conductor poseen energía potencial y realizan un trabajo en el conductor poniendo a otros electrones en el conductor en una nueva posición.

Se puede explicar de la siguiente manera: por ejemplo dos puntos, pongamos A y B, tienen diferencia de potencial pero aun así son unidos por un conductor. Esto provocará un flujo o traspaso de electrones, entonces del punto A que posee mayor potencial se producirá el traspaso de una parte de la carga, mediante el conductor, al otro punto (B) que posee menor potencial. El traspaso cesará solo cuando ambos puntos A y B igualen su capacidad de potencial eléctrico. Ese traspaso descrito es lo que comúnmente conocemos como corriente eléctrica.

Es evidente que la energía potencial de los electrones libres en la terminal positiva de un circuito es menor que la energía potencial de los que se encuentran en la terminal negativa; por tanto, hay una "diferencia de energía potencial" llamada comúnmente diferencia de potencial; esta diferencia de potencial es la que crea la "presión" necesaria para hacer circular la corriente. Debido a que en los circuitos eléctricos las fuentes de voltaje son las que crean la diferencia de potencial y que producen la circulación de corriente, también se les conoce como fuentes de fuerza electromotriz (FEM). La unidad básica de medición de la diferencia de potencial es el Volt su nombre, deriva de Alessandro Volta, físico italiano que inventó en el siglo XVII la pila eléctrica, luego denominada pila voltaica (también en honor a su mentor). Lo que hizo Volta fue "descubrir" los dos materiales que eran capaces de conducir electricidad de manera constante, un problema de la física que acarrea desde los tiempos de Luigi Galvani, otro físico italiano que comenzó a indagar sobre las posibilidades de generar este tipo de electricidad continua. Los dos materiales propuestos por Volta fueron el zinc y la plata.

El símbolo con el cual es representado el voltaje o tensión eléctrica es V o E, que representa a la unidad de medida que es el voltio o volt el cual se mide por medio de aparatos llamados voltímetros que se conectan en paralelo con la fuente.

## **2.8 Resistencia eléctrica.**

Es importante mencionar que todos los materiales ejercen una cierta resistencia al paso de la corriente eléctrica. Esto quiere decir que todas las sustancias se oponen, con mayor o menor éxito, a la circulación de la corriente. Aquellos materiales que ejercen una resistencia eléctrica muy reducida son denominados conductores por ejemplo el oro y el aluminio los cuales suelen emplearse como conductores y los elementos que presentan una elevada resistencia eléctrica se utilizan en los circuitos como resistores. Se trata de piezas que incluso reciben el

nombre de resistencia eléctrica y que se ubican entre dos puntos específicos del circuito para resistir el paso de la corriente. Entonces podemos decir que la resistencia eléctrica en definitiva es una oposición al paso de la corriente en un circuito eléctrico.

Un sinónimo de oponer es resistir, de manera que se puede establecer formalmente que la resistencia es la propiedad de un circuito eléctrico de oponerse a la corriente. La unidad de la resistencia es el ohm y se designa con la letra R; cuando la unidad ohm es muy pequeña se puede usar el KOhm, es igual a 1000 Ohms. Todas las componentes que se usan en los circuitos eléctricos, tienen alguna resistencia, siendo de particular interés en las instalaciones eléctricas la resistencia de los conductores. Cuatro factores afectan la resistencia metálica de los conductores:

- a) Su longitud.
- b) El área o sección transversal.
- c) El tipo de material del conductor.
- d) La temperatura.

La resistencia de un conductor es directamente proporcional a su longitud; es decir, que a mayor longitud del conductor el valor de la resistencia es mayor. La resistencia es inversamente proporcional al área o sección (grosso) del conductor; es decir, a medida que un conductor tiene mayor área su resistencia disminuye. Para la medición de la resistencia se utilizan aparatos denominados óhmetros que contienen su fuente de voltaje propia que normalmente es una batería. Los óhmetros se conectan al circuito al que se va a medir la resistencia, cuando el circuito está desenergizado. La resistencia se puede medir también por medio de aparatos llamados multímetros que integran también la medición de voltajes y corrientes. La resistencia también se puede calcular por método indirecto de voltaje y corriente.

## **2.9 Ley de ohm.**

En 1825, un científico alemán, George Simón Ohm (1787-1854), realizó experimentos que condujeron al establecimiento de una de las más importantes leyes de los circuitos eléctricos. Es importante remarcar que la ley de Ohm no es una ley fundamental de la naturaleza sino una relación empírica que es válida solo para ciertos materiales y ciertos aparatos en un rango limitado de condiciones. Se les llama materiales óhmicos a aquellos que obedecen la ley de Ohm. Tanto la ley como la unidad de resistencia eléctrica llevan su nombre en su honor.

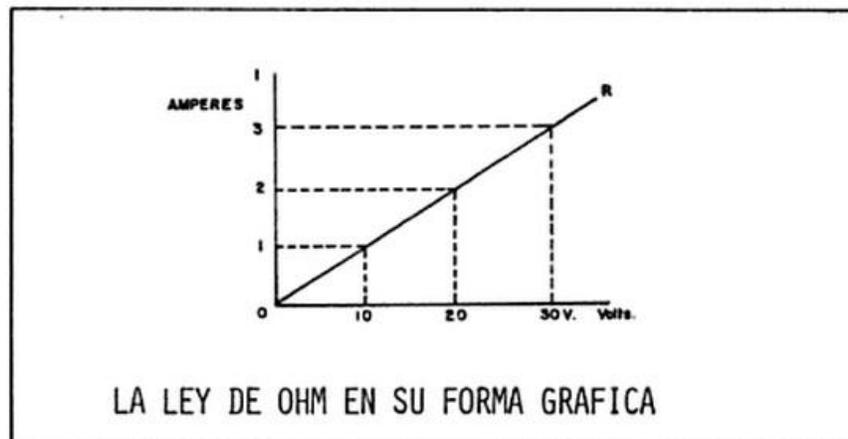
Los variables que conforman esta ley son: la Resistencia (R), la corriente (I) y el voltaje (E). Las tres maneras de expresar la ley de Ohm son las siguientes:

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Corriente}} ; R = \frac{E}{I}$$

$$\text{Corriente} = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Resistencia}} ; I = \frac{V}{R}$$

$$\text{Voltaje} = (\text{Resistencia})(\text{Corriente}) ; E = (R)(I)$$

Teniendo en cuenta estas fórmulas podemos decir que si el voltaje se duplica también se duplica la corriente, si se triplica el voltaje también la corriente lo hará, entonces se puede notar que si el valor de la resistencia se mantiene constante el voltaje es directamente proporcional a la corriente.



La relación que se acaba de describir se puede expresar gráficamente dibujando Voltaje contra corriente.

### 2.10 Potencia.

La unidad de potencia eléctrica es el Watt (w) en honor de James Watt (1736-1819), inventor de la máquina de vapor. En los circuitos eléctricos la capacidad de realizar un trabajo se conoce como la potencia; por lo general se asigna con la letra (P) y en honor a la memoria de James Watt, inventor de la máquina de vapor, Para calcular la potencia en un circuito eléctrico se usa la relación

$$P = (E)(I)$$

Dónde:

P: Potencia en **Watts**.

E: Voltaje o fuerza electromotriz en **Volts**.

I: es la corriente en **Amperes**.

Es común que algunos dispositivos como lámparas, calentadores, secadoras, etc., expresen su potencia en watts, por lo que en ocasiones es necesario manejar la fórmula anterior en distintas maneras en forma semejante a la Ley de Ohm.

$$P = (E)(I) ; \text{watts}$$

$$I = \frac{P}{E} ; \text{amperes}$$

$$E = \frac{P}{I} ; \text{volts}$$

## 2.11 Tipos de Potencia.

- Potencia activa (**P**)

Esta es la potencia capaz de realizar trabajo útil, esta es motivada por dispositivos del tipo resistivo como calefactores, alumbrado, calentadores de agua etc. Sus unidades de medidas son w, kW o MW dependiendo, esta potencia la origina la componente de la corriente que está en fase con el voltaje y su fórmula matemática es:

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

- Potencia Reactiva (**Q**)

Esta potencia genera campos eléctricos y campos magnéticos, es originada por dispositivos de tipo inductivo y capacitivo por ejemplo: transformadores, motores de inducción, capacitores etc. Esta es originada con la componente de la corriente que está a 90 grados en atraso o adelanto sus unidades de medida son, kVAR o MVAR dependiendo y su fórmula matemática es:

$$Q = V_{rms} * I_{rms} * \sin \theta$$

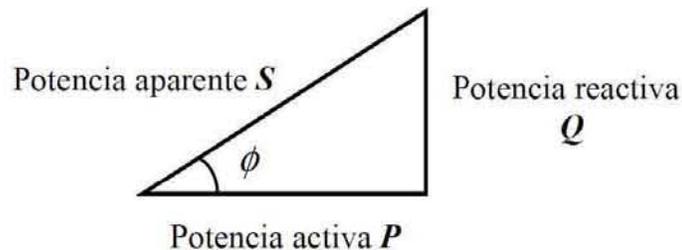
- **Potencia Aparente (S)**

Es la potencia total que requiere una carga además de ser la potencia que entregan generadores, transformadores etc., esta potencia es el resultado de la suma vectorial de la potencia activa y la potencia reactiva, una característica importante es que con esta los equipos eléctricos alcanzan su calentamiento máximo permisible, sus unidades de medida son los kVA o Mva y por ultimo su fórmula matemática es:

$$S = V_{rms} * I_{rms}$$

### 2.12 Triángulo de potencias.

El triángulo de potencias es una manera gráfica de representar los tres tipos de potencias ya descritas anteriormente mediante un triángulo rectángulo, así que se tiene que aplicar el teorema de Pitágoras por ejemplo para determinar el coseno del ángulo, el cual se forma entre la potencia activa y aparente consumida por la carga este es el factor de potencia el cual veremos en la siguiente página.



### 2.13 Factor de potencia.

El factor de potencia es esencialmente una medición de que tan bien la carga está convirtiendo la potencia total consumida en trabajo real. Un factor de potencia igual a 1 (unitario) indica que la carga está transformando toda la potencia consumida en trabajo real, por otra parte, un factor de potencia de 0 demuestra que la carga no está produciendo trabajo real. En todos los casos, el factor de potencia de una carga debe estar entre 0 y 1, y para la mayoría de las cargas típicas, el factor de potencia debe estar lo más cerca posible a 1.0, por ejemplo:

- Las cargas del tipo resistivo tienen un factor de potencia unitario.
- Las cargas del tipo inductivo tienen un factor de potencia cero.
- Los capacitores tienen un factor de potencia cero.

- Las cargas del tipo resistivo-inductivo su factor de potencia esta entre 0 y 1, este factor esta en atraso y se denomina del tipo inductivo.
- Las cargas del tipo resistivo capacitivo su factor de potencia esta en adelanto y se le denomina del tipo capacitivo.

La manera de representar el factor de potencia con su fórmula matemática es mediante la relación de la potencia activa (P) con la potencia aparente (S) es decir:

$$F_p = \frac{P}{S}$$

Aunque bajo condiciones de voltajes y corrientes senoidales su fórmula es de la siguiente manera:

$$F_p = \cos \theta$$

La relación de la potencia reactiva a la potencia aparente se conoce como "El factor de potencia reactivo" de la carga y está dado por la expresión:

$$F_r = \frac{\theta}{S} = \sin \theta$$

En forma similar al factor de potencia, el factor de potencia reactiva da una indicación de qué tanta potencia reactiva es consumida con relación a la potencia aparente. Un factor de potencia reactivo igual a 1, significa que nada de la potencia consumida por la carga se está usando para producir trabajo real.

Un elemento de calefacción sólo produce energía útil, los motores eléctricos tienen un factor de potencia reactivo a plena carga que se encuentra típicamente en el rango de 0.3 a 0.9 dependiendo del tamaño del motor.

#### **2.14 Factor de Demanda.**

El Factor de Demanda (f.d.) o también llamado Factor de Utilización (f.u.) se define oficialmente como: la "Relación entre la demanda máxima de un sistema o parte del mismo, y la carga total conectada al sistema o a una parte del mismo". Esto es lo oficial, pero también puede interpretarse como la cantidad promedio de electricidad demandada por una vivienda en 24 horas. Aplicarlo permite saber con suficiente aproximación el calibre del conductor apropiado para alimentar una carga.

La norma oficial mexicana (NOM-001-SEDE\_vigente) lo establece con cifras exactas, pero en la práctica dudo que la mayoría de los electricistas del país lo

respete tal y como está escrito, salvo el caso de la aplicación del 100% en algunas instalaciones.

La tabla oficial de la NOM vigente es la que se muestra a continuación:

| Tipo de local  | Parte de la carga de alumbrado a la que se aplica el factor de demanda en (kva) | Factor de demanda en porcentaje |
|--|---|---------------------------------|
| Almacenes  | Primeros 12,500 o menos<br>Apartir de 12,500                                    | 100<br>50                       |
| Hospitales   | Primeros 50,000 o menos<br>A partir de 50,000                                   | 40<br>20                        |
| Hoteles y moteles, incluyendo los bloques de apartamentos sin cocina | Primeros 20,000 o menos<br>De 20,001 a 100,000<br>A partir 100,000              | 50<br>40<br>30                  |
| Unidades de vivienda   | Primeros 3000 o menos<br>De 3001 a 120,000<br>A partir de 120,000               | 100<br>35<br>25                 |
| Todos los demas  | Total VA  | 100                             |

### 2.15 Las leyes de Kirchhoff.

Existen muchos circuitos eléctricos que no tienen componentes ni en serie, ni en paralelo, ni en serie-paralelo, en estos casos las reglas para la solución de circuitos serie, paralelo o serie-paralelo, no pueden ser aplicadas y entonces deben aplicar métodos más generales.

Se puede afirmar que cualquier circuito se puede resolver por las leyes de Kirchhoff, debido a que no dependen de conexiones serie o paralelo, en 1847 el físico alemán Gustav R. Kirchhoff, estableció dos reglas básicas para voltajes y corrientes que son:

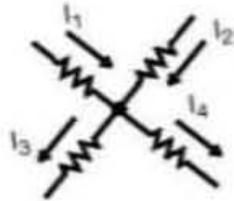
- a) En cualquier punto de un circuito, la suma algebraica de las corrientes que entran o salen, debe ser cero.
- b) La suma algebraica de las fuentes de voltaje y las caídas de voltaje (RI) en cualquier trayectoria cerrada debe ser cero.

### 2.16 La ley de Kirchhoff de corrientes.

La suma algebraica de las corrientes que entran y salen de un punto (nodo o punto de unión) en un circuito debe ser igual a cero, se puede establecer de otra forma: "La suma algebraica de las corrientes que entran a un punto y las corrientes salientes del mismo, debe ser igual a cero", por suma algebraica se quiere decir la combinación de signos positivos y negativos.

Por comodidad se acostumbra establecer una convención que determine los signos algebraicos para los términos de corrientes y voltajes, una convención conveniente para las corrientes es la siguiente:

Se consideran todas las corrientes que entran y llegan a un punto o nodo como positivas y todas las corrientes que salen del nodo o punto como negativas.



$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

### 2.17 La ley de Kirchhoff de voltaje.

Esta ley establece que la suma algebraica de los voltajes alrededor de cualquier trayectoria cerrada es cero, es decir si se inicia un recorrido en un punto de un circuito a un cierto potencial y se regresa al mismo punto y al mismo potencial, la diferencia de potencial debe ser cero,

Para determinar los signos algebraicos de los términos que aparecen en las ecuaciones de voltaje, se puede establecer una convención en forma similar a la establecida para la ley de Kirchhoff de corrientes. "Por ejemplo, se puede recorrer cualquier trayectoria cerrada y considerar cualquier voltaje cuya salida de corriente sea por la terminal positiva, designando esta como la polaridad positiva, y extendiendo esto a los otros elementos, este método se aplica tanto a fuentes de voltaje como a caídas de voltaje, la dirección de recorrido puede ser en sentido contrario a las manecillas del reloj.

### **2.18 Ecuaciones de malla.**

Cualquier trayectoria cerrada en un circuito eléctrico se conoce como una "malla" o lazo. Hay tres métodos de análisis que usan las leyes de Kirchhoff que son:

- a) Análisis de las corrientes de rama.

Este método se basa en la aplicación de la ley de Kirchhoff de corrientes y el uso de la ley de Kirchhoff de voltajes.

- b) **Análisis de las corrientes de malla.**

Este método es muy similar al análisis de las corrientes de rama, excepto que las ecuaciones de los circuitos están basadas en las corrientes de malla en lugar de las de rama.

- c) **Análisis de los voltajes de nodo.**

En este método se escriben las ecuaciones basadas en la ley de Kirchhoff de corrientes y en la ley de ohm.

El procedimiento de solución para cada uno de estos métodos de análisis, se describen a continuación:

### **2.19 Análisis de las corrientes de rama.**

- 1) Identificar las corrientes de rama y asignar direcciones, la selección de la dirección de las corrientes no es importante, cuando se completa la solución cualquier corriente que resulte negativa, simplemente se dice que está en dirección contraria.
- 2) Se escriben las ecuaciones de corriente, aplicando la ley de Kirchhoff de corrientes.
- 3) Se asigna polaridad a las caídas de voltaje alrededor del circuito, de acuerdo a las corrientes supuestas.
- 4) Escribir las ecuaciones de voltaje para cada malla, usando la ley de Kirchhoff de voltajes.
- 5) Resolver las ecuaciones para corrientes, usando alguno de los métodos algebraicos conocidos.

### **2.20 Análisis de las corrientes de malla.**

- 1) Dibujar las corrientes de malla en el circuito, la dirección asignada es arbitraria y no es tan importante.
- 2) Asignar la polaridad a las caídas de voltaje alrededor del circuito.
- 3) Aplicar y escribir la ley de Kirchhoff de voltajes.
- 4) Resolver las ecuaciones de malla.
- 5) Calcular las corrientes de rama aplicando la ley de Kirchhoff de corrientes.

### **2.21 Análisis de los voltajes de nodo.**

- 1) Seleccionar un nodo que se debe usar como nodo de referencia, puede ser el nodo con el mayor número de elementos conectados, y frecuentemente se selecciona como nodo de referencia tierra.
- 2) Identificar los voltajes de los otros nodos con respecto al nodo de referencia.
- 3) Escribir las ecuaciones para las caídas de voltaje, estas se escriben como la suma o la diferencia de voltajes.
- 4) Por medio de la ley de ohm, escribir las corrientes de rama, usando las caídas de voltaje del paso 3.
- 5) Realizar la solución algebraica de las corrientes planteadas en el paso anterior.

## **3 Elementos de una instalación eléctrica.**

Los elementos de una instalación eléctrica en general son los siguientes:

- Conductores eléctricos.
- Materias primas más utilizadas en la fabricación de conductores.
- Materias aislantes para conductores.
- Características principales de los aislantes para conductores eléctricos.
- Canalizaciones.
- Transformadores tipo pedestal.
- Características eléctricas de los transformadores.

### **3.1 Conductores Eléctricos.**

Se puede definir como conductor eléctrico aquel componente de un sistema, capaz de permitir el paso continuo de una corriente eléctrica cuando es sometido a una diferencia de potencial entre dos puntos. En general toda forma de materia en estado sólido o líquido posee en algún grado propiedades de conductividad eléctrica, pero determinados materiales son relativamente buenos conductores y otros están casi totalmente desprovistos de esta propiedad.

Como ejemplo, los metales son los mejores conductores mientras que otras sustancias tales como óxidos metálicos, sales, minerales y materiales fibrosos presentan una conductividad relativamente baja. Algunas otras sustancias tienen una conductividad tan baja que se clasifican como no conductores denominándose con mayor propiedad dieléctricos o aislamientos eléctricos.

Los conductores eléctricos se utilizan para permitir el paso de la corriente eléctrica entre dos puntos con diferente potencial eléctrico. Cuando se presenta este paso

de corriente eléctrica se dice que se ha establecido un circuito; el cual se puede definir por medio de cuatro propiedades eléctricas fundamentales: Resistencia, Inductancia, Capacitancia y Resistencia de aislamiento.

Un conductor eléctrico es un elemento de un sistema constituido de un material de alta conductividad eléctrica que puede ser utilizado para el transporte de energía eléctrica. Este consta de un filamento o alambre, de una serie de alambres cableados y/o torcidos, de material conductor, que se utiliza desnudo, o bien cubierto con material aislante. En aplicaciones donde se requieren grandes tensiones mecánicas se utilizan bronce, acero y aleaciones especiales. En aplicaciones electrónicas ultra finas y en pequeñas cantidades, se utilizan el oro, la plata y el platino como conductores.

### **3.2 Materias primas más utilizadas en la fabricación de conductores.**

Las materias primas más comúnmente utilizadas en la fabricación de conductores eléctricos son:

- Cobre
- Aluminio
- Plomo
- Acero

#### **a) Cobre**

Elemento químico monovalente, su símbolo es CU. Es un metal sumamente dúctil y maleable de un color rojizo pardo brillante, y uno de los mejores conductores del calor y la electricidad. Existe abundantemente en la naturaleza, tanto en el estado nativo, como en la forma de diversos materiales constituidos por óxidos y sulfuros.

**Metalurgia del cobre:** En el beneficio del cobre se siguen dos procedimientos de acuerdo a su composición mineral. Los que contienen cobre nativo o en forma de sulfuros se someten al proceso de la fundición. Los óxidos se disuelven mediante reactivos adecuados, para recuperar después el cobre por precipitación y refinación. El mineral de cobre se funde dos veces, la primera tiene por objeto obtener la mata de cobre, o sea, una mezcla de sulfuros de cobre y hierro, esta operación se realiza en hornos de reverbero, la segunda tiene por objeto afinar la mata separando el cobre del azufre y el hierro; esto se consigue fundiéndola en un horno convertidor en presencia de una corriente de aire constante. El azufre se escapa en forma de  $SO_2$ , y el hierro se convierte en óxido que se convierte en escoria. El producto se conoce como cobre negro (Blister).

Finalmente, el cobre negro, se somete a la refinación electrolítica que se efectúa haciendo pasar una corriente eléctrica por una solución acidulada (Sulfato de cobre  $CuSO_4$ ). El ánodo lo constituye el cobre que se desea refinar y para el cátodo se utiliza cobre puro. El cobre electrolítico suele poseer una pureza que fluctúa entre 99.92 y 99.96 por ciento el cual es suficiente para la elaboración de conductores eléctricos.

#### **b) Aluminio.**

Elemento químico trivalente, su símbolo es Al. Es un metal dúctil y maleable, de un color plateado, buen conductor de calor y electricidad. No existe en estado nativo en la naturaleza, siendo muy abundante en el silicato de alúmina y en bauxita (óxido de aluminio).

**Metalurgia del Aluminio:** El beneficio del aluminio se logra por medios electrolíticos, mezclado la bauxita purificada (óxido de aluminio), con criolita fundida (fluoruro doble de aluminio y sodio), a una temperatura de  $980^{\circ}C$  en un crisol de carbón que sirve como electrodo negativo. El electrodo positivo está formado por carbón. Entre ambos se hace pasar una corriente eléctrica continua depositándose el aluminio fundido en el fondo del crisol, donde es sangrado hacia las lingoteras, y/o al proceso de colada continua para obtener rollos de alambón de aluminio.

#### **c) Plomo**

Su símbolo químico es Pb. Es un metal blando y maleable, muy denso, de color gris opaco, y se funde a  $327.4^{\circ}C$ . El plomo existe en estado nativo pero es muy raro y se obtiene principalmente de la galena (sulfuro de Plomo).

**Metalurgia del Plomo:** Se principia por tostar la galena a fin de eliminar una parte de azufre. En el caso de concentrados se procede a fundirlos sin ninguna preparación, esto suele efectuarse en un alto horno. La carga consiste en una mezcla de galena, coque y algún fundente ferruginoso.

De la parte inferior del horno se extrae el plomo fundido, refinándose después. El plomo puede alcanzar purezas hasta de 99.90 por ciento.

#### **d) Acero**

Es un metal derivado del hierro y está compuesto principalmente de hierro, carbono y magnesio.

**Metalurgia del Acero:** El mineral de hierro se combina con coque y caliza, donde se transforman dentro de un horno de metal derretido mediante aire caliente.

El metal fundido se deposita en el fondo, es sangrado y transportado a los hornos convertidores y por medio de aire caliente se le queman las impurezas y se añaden carbono y magnesio.

### **3.3 Materiales Aislantes para Conductores.**

#### **a) Hule natural**

Este es un material que mucho tiempo atrás no tuvo competencia para la fabricación de aislamientos y cubiertas de cables eléctricos; sin embargo, actualmente se emplea una cantidad muy pequeña para este propósito. Necesita formularse especialmente para lograr compuestas resistentes a la humedad, al calor, a los aceites y de resistencia mecánica alta. Actualmente no puede competir con los hules sintéticos (elastómeros); que se han desarrollado.

#### **b) Hule SBR o GRS**

Fue el primer material que remplazo al hule natural, se le conoce como hule estireno-butadieno, hule BUNAS-S, hule SBR o GRS. Aunque su resistencia mecánica es inferior al hule natural, puede formularse para lograr un compuesto de buenas cualidades eléctricas para cables de baja tensión, es más resistente al calor y humedad que el hule natural. Aun se emplea como aislamiento para tensiones hasta de 2000 volts. Su uso se limita a aplicaciones de baja tensión porque hay otros aislamientos plásticos y elastoméricos que le llevan toda la ventaja para tensiones altas. Se emplea para temperaturas de operación hasta de 90°C.

#### **c) Hule Butilo**

Este material es un polímero del isobutileno-isopreno. Aunque este material fue desarrollado en 1940, tomo algunos años vencer algunos problemas técnicos de proceso para poder emplearlo como aislamiento de conductores eléctricos. Sin embargo, en 1947 se empezó a lograr una enorme producción de cables con este aislamiento para tensiones hasta de 35000 volts.

Una vez que las dificultades de formulación y preparación de compuestos de hule butilo fueron vencidas, se logró tener un excelente aislamiento para alta tensión. Este aislamiento puede trabajar a temperaturas de operación continua hasta de 90°C. Es inherentemente resistente al ozono y a la humedad. Muy resistente al calor, de buena resistividad y rigidez dieléctrica, de buenas propiedades mecánicas y excelente resistencia a la deformación térmica.

#### **d) Policloropreno, (Neopreno)**

Alrededor de los años treinta se desarrolló para la industria de cables un nuevo material que parecía ser muy especial para aquella época. Con el paso del tiempo se convirtió en un caballito de batalla para aplicaciones como cubiertas de cables. Este material es el neopreno, y aunque tiene actualmente algunas limitaciones, aun se usa extensamente.

El neopreno, químicamente, es un polímero del cloropreno, que solo tiene aplicación como aislamiento eléctrico en conductores de baja tensión, 600 volts, ya que su contenido de cloro hace sus cualidades aislantes no sean muy elevadas. Su principal o mayor uso es, como se indicó antes, en la fabricación de cubiertas exteriores de cables aislados. Pueden prepararse compuestos de el con muy buena resistencia mecánica a la tensión y al rasgado. Por su estructura química es resistente al aceite, a los materiales químicos, al color, la humedad y la flama. Es altamente resistente al ozono y al ataque de la intemperie.

En relación a su resistencia a la flama, como en su constitución contiene cloro, el material es prácticamente no propagador de ella, es decir, cuando a un compuesto de neopreno se le aplica una flama, continuara ardiendo mientras la flama se sostiene, pero en el momento en que esta se retira, el neopreno deja de quemarse, por esta razón es muy usado como cubierta exterior no propagadora en aislamientos que si propagan la flama. El neopreno es capaz de operar un rango muy amplio de temperaturas; empleado como cubierta exterior puede trabajar a temperaturas tan bajas como  $-65^{\circ}\text{C}$  y especialmente formulado puede usarse como aislamiento de cables con temperatura de operación de  $90^{\circ}\text{C}$ .

#### **e) Polietileno Clorosulfonado, (CP) (HYPALON), (CSPE).**

Este material es de aplicación más reciente que el neopreno, en la industria manufacturera de conductores eléctricos. Esta especificado por la norma NMX-J 061 como aislamiento de los cables tipo RHH y RHW. Puede emplearse como un compuesto aislamiento-cubierta integral para muchos tipos de cables, especialmente del tipo automotriz.

Posee buenas cualidades eléctricas para usarse como un aislamiento eléctrico de baja tensión. Posee una gran resistencia al ozono y al efecto corona. Tiene muy buena resistencia al calor, la humedad y pueden prepararse formulaciones especiales para muy bajas temperaturas. Su constante dieléctrica, su factor de potencia y sus otras características eléctricas no permiten aplicarlo como un aislante para altas tensiones.

**f) Polietileno Clorado, (CPE).**

Este polímero existe tanto en compuestos termoplásticos como en termofijos (elastoméricos). Al igual que el neopreno y que el hypalon, por sus propiedades dieléctricas inherentes, el CPE se emplea únicamente como aislamiento en productos de baja tensión, 600 volts y encuentra su principal aplicación en el área de la fabricación de cubiertas exteriores para alambres y cables. Hay CPE para 90°C y 105°C. Uno de sus recientes usos se encuentra como aislamiento de los cordones térmicos portátiles para plancha, tipo HPN.

**g) Policloruro de Vinilo (PVC) o (PVC-RAD).**

Los compuestos aislantes de este material tienen como base el polímero de cloruro de vinilo. Las primeras formulaciones de policloruro de vinilo para la fabricación de compuestos termoplásticos aislantes, se empezaron a desarrollar a partir de 1930 y aunque en un principio esos compuestos solo se emplearon para conductores cuyas temperaturas de operación fueron de 60°C, posteriormente se mejoraron y actualmente existen compuestos que pueden emplearse en cables con temperaturas en el conductor de 90°C y 105°C y para tensiones de 600 volts.

Debido a que los compuestos de PVC contienen cloro en sus moléculas, son inherentemente no propagadores de flama, sobre todo en los casos en que se preparan formulaciones especiales para lograr no solo esta cualidad, sino para hacerlos resistentes a la no propagación de incendio, de baja emisión de humos y bajo contenido de gas ácido.

Los compuestos de PVC tienen muy buenas propiedades mecánicas, pero sus cualidades eléctricas no son sobresalientes, sobre todo si se le compara con otros aislamientos nuevos que se han venido desarrollando por esta causa se aplicación se limita en nuestro medio a emplearlo para tensiones no mayores de 600 volts (en Europa debido a la escasez de otros materiales para alta tensión, se prepararon compuestos especiales de PVC que sirvieron para cables de energía hasta de 23,000 volts, sin embargo su alta constante dieléctrica y factor de potencia hacen de un aislamiento de altas pérdidas dieléctricas que lo limitan para emplearlo en cables de alta tensión).

El PVC se emplea en la fabricación de alambres y cables de los tipos, TW, THW, THHN, THWN, THHW, THHW-LS, y además por sus magníficas propiedades de resistencia mecánica, no propagación de la flama ni del incendio y de resistencia a los aceites, es ampliamente usado para alta tensión.

## **h) Polietileno (PE)**

Es un material termoplástico constituido por cadenas lineales o ramificadas de mono metos de etileno. Fue originalmente desarrollado en 1937 y abundantemente fabricado en los estados unidos a partir de 1940.

Eléctricamente, el polietileno posee el mejor conjunto de cualidades que se pueden esperar en un aislamiento solido: alta rigidez dieléctrica, bajo factor de potencia y constante dieléctrica, alta resistividad volumétrica. Sus propiedades mecánicas son buenas, sin embargo sus limitaciones principales son su pobre resistencia a la flama, su termo plasticidad, su deterioro por la acción de los rayos ultravioleta y su poca resistencia a la ionización.

El polietileno convencional esta normalizado como aislamiento para conductores de 600 o 1000 volts, cuya temperatura de operación en el conductor no exceda de 75°C. Por sus buenas propiedades mecánicas y su alta resistencia a la humedad, también se emplea para cubiertas exteriores de algunos cables de energía y en cables de comunicaciones subterráneos o aéreos. Es el material por excelencia para fabricar los aislamientos de cables telefónicos.

## **i) Polietileno de cadena cruzada (XLPE o XLP).**

El polietileno de cadena cruzada, polietileno reticulado o simplemente XLPE, se produce por la combinación de un polietileno termoplástico y un peróxido orgánico adecuado, bajo ciertas condiciones de presión y temperatura. El aislamiento resultante es de color natural o café claro dependiendo el tipo de antioxidante que se emplee en la preparación. La resina de polietileno reticulada se puede emplear pura o mezclada con negro de humo o cargas minerales que le mejoran sus propiedades físicas, pero disminuyen sus cualidades eléctricas, por lo que esta combinación solo se emplea como aislamiento para cables hasta 5000 volts, sin cubierta exterior.

Después de la extrusión el cable aislado con polietileno vulcanizable pasa a través de una línea de vulcanización con gas o vapor a alta presión y temperatura con lo que el material se convierte de termoplástico en termofijo, es decir el aislamiento ya no se funde o escurre a altas temperaturas.

Los aislamientos de polietileno reticulado para altas tensiones tienen buenas cualidades mecánicas, poseen buena resistencia a la compresión y deformación térmica y tienen una excelente resistencia al envejecimiento por altas y bajas temperaturas. Sus cualidades eléctricas como rigidez dieléctrica, factor de potencia, constantes dieléctricas y de aislamiento, así como su estabilidad eléctrica en agua son sobresalientes. Es altamente resistente al ozono, a la

humedad y a productos químicos. El polietileno vulcanizado es un aislamiento para temperaturas de 90°C en operación normal, 130°C en condiciones de emergencia y 250°C en condiciones de cortocircuito y se ha llegado a emplear en cables de energía para tensiones de: 69, 115, 230 y 525 kV.

#### **j) Etileno Propileno (EPR o EP)**

El aislamiento de etileno propileno comúnmente conocido como EPR, es un material elastomérico obtenido a partir del etileno y del propileno.

Un aislamiento típico de EPR para alta tensión es un compuesto que se prepara mezclando la resina de etileno-propileno con varios ingredientes más, como por ejemplo cargas minerales, antioxidantes, plastificantes, agentes de vulcanización, etc. Al igual que en el XLPE el cable aislado con el compuesto de EPR, se somete a un proceso de vulcanización obteniéndose un material termofijo. Los aislamientos de EPR debidamente formulados y procesados poseen muy buenas cualidades eléctricas y físicas; sobresaliente resistencia térmica y al ozono así como una excelente estabilidad eléctrica en agua. Los cables aislados con etileno propileno poseen una muy buena flexibilidad que permite un adecuado manejo durante la instalación. Los rangos térmicos de trabajo son los mismos que se mencionan para el XLPE.

### **3.4 Características principales de los aislamientos para Conductores eléctricos.**

Un material aislante es toda aquella sustancia de tan baja conductividad que el paso de la corriente eléctrica a través de ella es prácticamente despreciable. En cada aislamiento eléctrico hay una cierta cantidad de características o parámetros que permiten estudiar, evaluar y comparar estos materiales. Por ejemplo los valores mecánicos importantes son: la resistencia a la tensión mecánica y al alargamiento de un material antes y después de someterlos a una prueba de envejecimiento acelerado, así como también su dureza y flexibilidad. Entre las cualidades eléctricas están: la rigidez dieléctrica del material, su resistividad y su constante dieléctrica.

#### **a) Rigidez Dieléctrica**

La rigidez dieléctrica o gradiente de un aislamiento representa el número de volts requeridos para perforarlo. En un aislamiento cuya sección no cambie a través de su espesor, está dada por la relación entre la tensión (volts) aplicada y el espesor del aislamiento ( $kV/mm$ ).

Según la forma como se mida la rigidez dieléctrica se pueden obtener valores diferentes. En un cable por ejemplo se pueden medir las siguientes formas:

- Con corriente alterna incrementando la tensión (volts), en forma escalonada hasta la falla.
- Con corriente alterna incrementando rápidamente la tensión (volts), hasta la falla.
- Con impulsos eléctricos de muy alta tensión (volts), pero de muy poca duración (micro-segundos).
- Con corriente directa incrementando gradualmente la tensión (volts).
- Con corriente alterna a una mediana tensión (volts), pero a largo tiempo.

### **b) Constante dieléctrica**

La constante dieléctrica o capacidad inductiva específica (SIC) de un aislamiento es la relación entre la capacitancia de un condensador cuyo dieléctrico sea el aislamiento en cuestión y la capacitancia del mismo condensador con aire como dieléctrico. La constante dieléctrica de un aislamiento en un cable determina la corriente de carga capacitiva que se produce en el cable y que se traduce en pérdidas dieléctricas. Conviene que tenga un valor lo más bajo posible.

### **c) Resistencia de Aislamiento**

La resistencia del aislamiento mínima especificada de un cable es la resistencia media entre el conductor y un electrodo que se encuentra envolviendo la superficie exterior de aislamiento. En base a las dimensiones del cable se puede determinar lo que se llama la constante de resistencia de aislamiento (k) que es independiente de las dimensiones.

Las pruebas de resistencia de aislamiento son una forma sencilla para determinar el deterioro de un aislamiento y suelen efectuarse en la fábrica y en el campo, para determinar el estado de un cable.

La resistencia mínima del aislamiento especificada se calcula con la fórmula:

$$R_a = K \log_{10} \left( \frac{D}{d} \right) F_1 F_L$$

En donde:

$R_a$  = Resistencia de aislamiento en  $Mohm/km$

$K$  = Constante de resistencia de aislamiento (depende del material empleado)

$D$  = Diámetro sobre el aislamiento en mm

$d$  = Diámetro sobre el conductor en mm

$F_1$  = Factor de corrección por temperatura (unitaria 15.6°C o 60°F)

$F_2$  = Factor de corrección por longitud =  $\frac{1000}{\text{long.real del cable}}$

Valores típicos de  $K$  a 15.6°C ( $Mohm/km$ ).

| Material         | Valores de Resistencia |
|------------------|------------------------|
| PVC              | 150                    |
| Polietileno      | 15.25                  |
| XLPE             | 6.1                    |
| EPR              | 6.1                    |
| Papel Impregnado | 3                      |

### 3.5 Canalizaciones.

Una canalización es un conducto cerrado diseñado para contener cables o buses-ducto, pueden ser metálicos o no metálicos. Estos sirven para que queden protegidos contra el deterioro mecánico y contaminación, y que además protejan a las instalaciones contra incendios por arcos eléctricos que se presentan en condiciones de corto circuito.

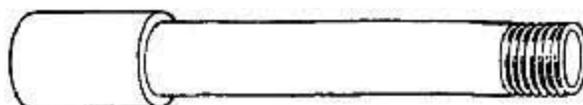
#### a) Tubo Conduit.

El tubo conduit es un tipo de tubo (de metal o plástico) que se usa para contener y proteger los conductores eléctricos usados en las instalaciones. Los tubos conduit metálicos pueden ser de aluminio, acero o aleaciones especiales; a su vez, los tubos de acero se fabrican en los tipos pesados, semipesado y ligero, distinguiéndose uno de otro por el espesor de la pared.



### b) Tubo conduit de acero pesado (pared gruesa).

Estos tubos conduit se venden en forma galvanizada o con recubrimiento negro esmaltado, normalmente en tramos de 3.05 m de longitud con rosca en ambos extremos. Para este tipo de tubos se usan como conectores los llamados copies, niples (corto y largo), así como niples cerrados o de cuerda corrida. El tipo de herramienta que se usa para trabajar en tubos conduit de pared gruesa es el mismo que se usa para tuberías de agua en trabajos de plomería. Se fabrican en secciones circulares con diámetros que van de 13 mm (1/2 pulgada) a 152.4 mm (6 pulgadas). La superficie interior en estos tubos, como en cualquiera de los otros tipos, debe ser lisa para evitar daños al aislamiento o a la cubierta de los conductores. Los extremos se deben escarear para evitar bordes cortantes.

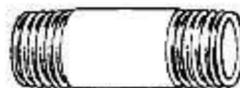


Tubo conduit de pared gruesa

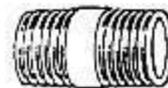
#### Niples



a) corrido



b) Largo



c) Niple corto

Los tubos rígidos (metálicos) de pared gruesa del tipo pesado y semipesado se pueden emplear en instalaciones visibles y cultas ya sea embebido en concreto o embutido en mampostería en cualquier tipo de edificios y bajo cualquier condición atmosférica. También se pueden usar directamente enterrados, recubiertos externamente para satisfacer condiciones más severas. Cuando sea necesario hacer el doblado del tubo metálico rígido, se debe hacer con la herramienta apropiada para que no se produzcan grietas en su parte interna y no se reduzca su diámetro interno en forma apreciable. Para conductores con aislamiento normal alojados en tubo conduit rígido, se recomienda que el radio interior de las curvas

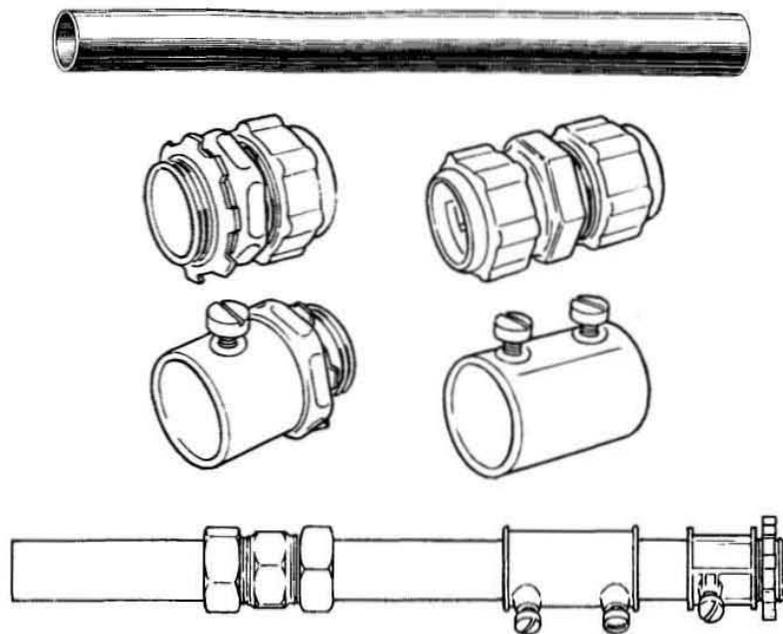
no sea menor que 6 veces el diámetro exterior del tubo. Cuando los conductores tienen cubierta metálica el radio de curvatura de las curvas puede ser hasta 10 veces el diámetro exterior del tubo. El número de curvas en un tramo de tubería colocado entre dos cajas de conexiones consecutivas o entre una caja y un accesorio o entre dos accesorios se recomienda que no exceda a dos de 90° o bien su equivalente (180° en total).

**c) Tubo conduit metálico de pared delgada.**

A este tubo se le conoce también como tubo metálico rígido ligero, su uso es permitido en instalaciones ocultas o visibles ya sea embebido en concreto o embutido en mampostería, en lugares de ambiente seco no expuesto a humedad o ambiente corrosivo.

No se recomienda en lugares que durante su instalación o después de ésta se exponga a daño mecánico. Tampoco se debe usar directamente enterado o en lugares húmedos o mojados, así como en lugares clasificados como peligrosos. El diámetro máximo recomendable para estos tubos es de 51 mm (2 pulgadas) y debido a que son de pared delgada, en estos tubos no se debe hacer roscado para atornillarse a cajas de conexión u otros accesorios, de modo que los tramos se deben unir por medio de accesorios de unión especiales.

Tubo conduit de pared delgada y uniones



#### **d) Tubo conduit metálico flexible.**

Con esta designación se encuentra el tubo flexible común fabricado con cinta metálica engargolada (en forma helicoidal), sin ningún recubrimiento. A este tipo de tubo también se le conoce como "greenfield". No se recomienda su uso en diámetros inferiores a 13 mm (1/2 pulgada) ni superiores a 102 milímetros (4 pulgadas). Para su aplicación se recomienda su uso en lugares secos donde no está expuesto a corrosión o daño mecánico, o sea que se puede instalar embutido en muro o ladrillo o bloques similares, así como en ranuras en concreto.

No se recomienda su uso en lugares en donde se encuentre directamente enterrado o embebido en concreto; tampoco se debe usar en lugares expuestos a ambiente corrosivo. Su uso se acentúa en las instalaciones de tipo industrial como último tramo para conexión de motores eléctricos. En el uso de tubo flexible el acoplamiento a cajas, ductos y gabinetes se debe hacer usando los accesorios apropiados para tal fin; además, cuando se use este tubo como canalización fija a un muro o estructura se deben usar para su montaje o fijación abrazadera, grapas o accesorios similares que no dañen al tubo, debiendo colocarse a intervalos no mayores de 1.50 m y a 30 cm como máximo, con respecto a cada caja o accesorio.



#### **e) Tubo conduit de plástico rígido (PVC).**

Este tubo está clasificado dentro de los tubos conduit no metálicos; el tubo PVC es la designación comercial que se da al tubo rígido de poli cloruro de vinilo (PVC). También dentro de la clasificación de tubos no metálicos se encuentran los tubos de polietileno. El tubo rígido de PVC debe ser auto extingible, resistente al

aplastamiento, a la humedad y a ciertos agentes químicos. El uso permitido del tubo conduit rígido de PVC se encuentra en:

- Instalaciones ocultas.
- En instalaciones visibles en donde el tubo no esté expuesto a daño mecánico.
- En ciertos lugares en donde existen agentes químicos que no afecten al tubo y sus accesorios.
- En locales húmedos o mojados instalados de manera que no les penetre el agua y en lugares en donde no les afecte la corrosión que exista en medios de ambiente corrosivo.
- Directamente enterrados a una profundidad no menor de 0.50 m a menos que se proteja con un recubrimiento de concreto de 5 centímetros de espesor como mínimo de acuerdo con la normal técnica para instalaciones eléctricas.

Los tubos rígidos de PVC se deben soportar a intervalos que no excedan a los de la siguiente tabla.

| Diámetro Nominal |                  | Diámetro Interior |                  | Area Interior           |                          |
|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|
| <i>M.M.</i>      | <i>En Pulgs.</i> | <i>M.M.</i>       | <i>En Pulgs.</i> | <i>M.M.<sup>2</sup></i> | <i>Pulgs<sup>2</sup></i> |
| 13               | 1/2              | 15.81             | 0.622            | 196                     | 0.3                      |
| 19               | 3/4              | 21.3              | 0.824            | 356                     | 0.53                     |
| 25               | 7                | 26.5              | 1.049            | 552                     | 0.86                     |
| 32               | 1 1/4            | 35.31             | 1.38             | 979                     | 1.5                      |
| 38               | 1 1/2            | 41.16             | 1.61             | 1331                    | 2.04                     |
| 51               | 2                | 52.76             | 2.067            | 2186                    | 3.36                     |
| 63               | 2 1/2            | 62.71             | 2.469            | 3088                    | 4.79                     |
| 76               | 3                | 77.93             | 3.168            | 4769                    | 7.28                     |
| 89               | 3 1/2            | 90.12             | 3.548            | 6378                    | 9.9                      |
| 102              | 4                | 102.26            | 4.026            | 8213                    | 12.72                    |

### 3.6 Transformadores Tipo Pedestal.

El transformador de pedestal es un equipo dentro de un gabinete, colocado a la intemperie con terminales de media tensión de frente muerto, provisto de puertas con cerraduras. Son transformadores utilizados como parte de sistemas de distribución subterráneos, idóneos para aplicaciones residenciales, sitios turísticos, hoteles, edificios, etc., ya que cuentan con compartimientos sellados de seguridad tanto para alta como baja tensión lo cual hace que su funcionamiento sea seguro previniendo posibles accidentes al público.

El transformador de distribución para montaje sobre plataforma o pedestal está diseñado para proveer servicio eléctrico en sistemas de distribución subterráneos. Este tipo transformador está diseñado para instalarse en el interior o exterior de zonas residenciales o en terrazas de edificios. Los cables primarios y secundarios alimentan el transformador estos ubicados frontalmente dentro de un gabinete que evita el acceso de y/o elementos extraños. El acceso restringido, la ausencia de esquinas puntiagudas y el acabado atractivo hacen del transformador tipo pedestal una buena alternativa económica para el modelo más clásico de la subestación unitaria.

Las condiciones generales de uso están descritas en las siguientes normas:

| Norma        | Descripción   |
|--------------|---|
| NMX-J-285    | Transformadores tipo pedestal monofásico y trifásico para distribución subterránea.                     |
| NMX-J-287    | Transformadores tipo sumergible monofásico y trifásico para distribución subterránea.                   |
| CFE K0000-05 | Transformadores trifásicos tipo sumergible para distribución comercial subterránea (DCS).               |
| CFE K0000-07 | Transformadores trifásicos tipo pedestal para distribución comercial subterránea (DCS), 300 y 500 Kva.  |
| CFE K0000-08 | Transformadores trifásicos tipo pedestal para distribución residencial subterránea (DRS), 75 a 225 kVA. |
| CFE K0000-22 | Transformadores trifásicos tipo sumergible para distribución comercial subterránea (DCS).               |
| LFC GDD-173  | Transformadores tipo pedestal DRS 23-BT, 75 a 300 kVA.  |
| LFC GDD-175  | Transformadores trifásicos de distribución comercial subterránea (DCS) Pozo 23-BT, 300 y 500 kVA.       |
| LFC GDD-176  | Transformadores trifásicos de distribución residencial subterránea (DRS) Pozo 23-BT, 75 a 225 kVA.      |

### 3.7 Características eléctricas de los transformadores.

Los transformadores tienen características eléctricas que se deben estudiar cuidadosamente, algunas de estas características relevantes son las que se mencionan a continuación:

- **Potencia Nominal.**

La potencia nominal de un transformador es el valor convencional de potencia aparente que sirve de base para su diseño, las pruebas y las garantías del fabricante, que determinan la corriente nominal que circula a tensión nominal en las condiciones específicas.

Si se consideran los límites prácticos de construcción de los transformadores, se pueden afirmar que las potencias nominales crecen más rápidamente que sus pesos, otro dato importante nos dice que los transformadores de mayor potencia tienen mejores eficiencias que aquellos de menor potencia nominal, es decir, entre más grande es la potencia del transformador, mejor es su rendimiento.

- **Tensión Nominal.**

Es el valor de la tensión que se aplica a las terminales de línea de los devanados del transformador. En los transformadores trifásicos, si las bobinas están conectadas en delta o triángulo, la tensión nominal de los devanados coincide con la tensión del transformador, si están conectados en estrella, la tensión nominal de los devanados es  $\sqrt{3}$  veces inferior a la tensión nominal del transformador.

- **Corriente nominal.**

Es la corriente que circula en la terminal de línea de los devanados, su valor se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

Transformadores trifásicos

$$I = \frac{kVA}{\sqrt{3} kV}$$

- **Frecuencia Nominal.**

Es la frecuencia con la cual se determinan todos los parámetros eléctricos del transformador y debe ser la misma que la de la red de energía donde el transformador va a conectarse y operar esta es de 60 hz.

- **Rangos de potencias.**

Las potencias normalizadas van de los 30 a los 1500 kVA aprox. Las capacidades aceptables para ser cedidas a la empresa distribuidora para su operación y mantenimiento.

- **Fases.**

Numero de fases 3.

- **Derivaciones (taps).**

Los transformadores deberán tener cuatro o cinco derivaciones en el lado de mediana tensión enumeradas del 1 al 4 o del 1 al 5 dependiendo.

- **Perdidas.**

Las pérdidas y la potencia absorbida por el transformador se disipan en forma de calor por los devanados primario y secundario (terciario en su caso) y también por el núcleo de hierro. Las pérdidas de un transformador se pueden analizar bajo dos formas de operación diferente.

- **Perdidas en vacío.**

Las pérdidas en vacío son aquellas absorbidas por el transformador cuando se alimenta a tensión y frecuencia nominal, estando sus devanados secundario y terciario (en su caso) abiertos, es decir, sin tener carga conectada. Estas pérdidas se resumen a pérdidas en el núcleo del hierro, que están caracterizadas por las pérdidas por las corrientes parasitas y por el efecto de histéresis magnética.

- **Perdidas con Carga.**

Las pérdidas con carga son aquellas que corresponden a la potencia activa absorbida a la frecuencia nominal, cuando en las terminales del primario circula la corriente nominal y las terminales del devanado secundario están en corto circuito.

Las perdidas con carga son producidas únicamente por el valor de la resistencia de las bobinas del transformador, por lo que en algunos casos se les conoce también como perdidas en el cobre, aun cuando hay transformadores que usan devanados de aluminio. Estas pérdidas tienen su valor máximo cuando el transformador opera a plena carga y son despreciables cuando opera en vacío.

#### **4 Fraccionamiento “Republica de San José”.**

Para llevar a cabo este proyecto que consta en realizar la instalación eléctrica en un fraccionamiento habitacional el cual estará dividido en cuatro secciones:

- La primera está conformada por ocho casas, estacionamiento y alumbrado la cual será la sección “A”.
- La segunda está conformada por ocho casas, estacionamiento y alumbrado la cual será la sección “B”.
- La tercera está conformada por ocho casas, estacionamiento y alumbrado la cual será la sección “C”.
- La cuarta esta designada como sección “servicios” la cual está conformada por los servicios de alumbrado, un salón de eventos, una oficina de admiración del fraccionamiento, otra de seguridad y por ultimo un parque.

Se llevara a cabo la electrificación de estas secciones teniendo en cuenta las necesidades de cada una, así como todos los tipos de cargas, ubicaciones y características de cada una de ellas las cuales serán mostradas en tablas más adelante.

*“Véase plano completo en el apéndice 1”*

##### **4.1 Proyecto.**

Al ser este un fraccionamiento habitacional la eficiencia de la instalación debe ser de un buen rendimiento y evitar fallas a futuro, mucho más al ser del tipo subterráneo ya que es un poco más difícil detectar las fallas aunque en la actualidad existen ciertos instrumentos que ayudan a este problema.

Teniendo en cuenta la importancia del rendimiento en la instalación se han planteado tres maneras diferentes para llevar a cabo este proyecto con el fin de poder darnos cuenta de los beneficios y problemáticas entre cada una de estos casos.

- **Caso “A”.**

*Para este caso diseñaremos la red de distribución subterránea usando un transformador para cada una de las secciones descritas anteriormente.*

- **Caso “B”.**

*Para este caso diseñaremos la red de distribución subterránea usando un transformador para las tres secciones de casas que son un total de 24 y otra red usando otro transformador para la sección de servicios.*

- **Caso “C”.**

*Para este caso diseñaremos una sola red de distribución subterránea con un solo transformador para todo el fraccionamiento.*

Una vez habiendo descrito cada sección del fraccionamiento y cada uno de los casos planteados iniciaremos los cálculos necesarios para cada uno de ellos los cuales serán:

- Los kW y kVA totales de cada caso.
- Corriente total de cada caso.
- Centro de carga en cada sección.
- Calibre de conductores.
- % De Regulación en cada uno de los casos el cual no debe pasar de 5%.

*“En las tablas que se mostraran a continuación están descritas las cargas que están involucradas en el proyecto, los cálculos de kW, kVA y amperes mostrados se muestran en el Apéndice 2.”*

#### **4.2 Centro de carga.**

El centro de carga facilitara la ubicación del transformador y una distribución balanceada para cada una de las cargas. La fórmula que utilizaremos para calcular el centro de carga en un plano de cargas no balanceadas será la siguiente:

Para el eje X

$$Lx = \frac{W_1lx_1 + W_2lx_2 + W_3lx_3 + W_4lx_4 + W_nlx_n \dots \dots}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_N \dots \dots}$$

Donde

$W_1 =$  carga en **Watts**

$lx_1 =$  Distancia de la carga en **mts**

Para el eje Y

$$Ly = \frac{W_1ly_1 + W_2ly_2 + W_3ly_3 + W_4ly_4 + W_nly_n \dots \dots \dots}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_N \dots \dots \dots}$$

Donde

$W_n =$  carga en **Watts**

$lx_n =$  Distancia de la carga en **mts**

#### 4.2.1 Caso “A”.

Para este caso diseñaremos la red de distribución subterránea usando un transformador para cada una de las secciones descritas.

#### Sección “A”

| Tipo de carga | Carga Instalada | Factor de Demanda | Factor de Potencia | Kilowatts (KW) | kVA   | Corriente (Amp) | Eje X (mts) | Eje Y (mts) |
|---------------|-----------------|-------------------|--------------------|----------------|-------|-----------------|-------------|-------------|
| Casas (4)     | 20 kW           | 0.6               | 0.9                | 20             | 13.33 | 34.98           | 51.4        | 178.3       |
| Casas (4)     | 20 kW           | 0.6               | 0.9                | 20             | 13.33 | 34.98           | 171.4       | 178.3       |
| Estacionam    | 6 kW            | 0.4               | 0.9                | 6              | 2.66  | 7               | 111.4       | 199.3       |
| Alumbrado     | 10 kW           | 1                 | 0.9                | 10             | 11.11 | 29.15           | 122.5       | 160.6       |
|               |                 |                   |                    |                |       |                 |             |             |
|               |                 |                   | Total              | 56             | 40.43 | 106.11          |             |             |

#### Centro de carga Sección “A”.

Usando las formulas anteriormente descritas y basándonos en los datos de la tabla anterior iniciaremos con el cálculo del centro de carga.

Eje “X”

- 1) Sustituimos valores de la tabla en la fórmula para el eje X

$$Lx = \frac{(20)(51.4) + (20)(171.4) + (6)(111.4) + (10)(122.5)}{20 + 20 + 6 + 10} = \frac{6349.3}{56}$$



2) Resolviendo tenemos que el eje X tendrá una distancia de

$$Lx = 25.21 \text{ mts}$$

Eje "Y"

1) Sustituimos valores de la tabla en la fórmula para el eje Y

$$Ly = \frac{(20)(20.3) + (20)(135.3) + (6)(77.8) + (10)(88.9)}{20 + 20 + 6 + 10} = \frac{4467.5}{56}$$

2) Resolviendo tenemos que el eje Y tendrá una distancia de

$$Ly = 79.78 \text{ mts}$$

De esta manera ubicamos el centro de carga para la sección "A" en el punto:

$$C.C. = (25.21, 79.78)$$

### Sección "C"

| Tipo de carga | Carga Instalada | Factor de Demanda | Factor de Potencia | Kilowatts (KW) | kVA   | Corriente (Amp) | Eje X (mts) | Eje Y (mts) |
|---------------|-----------------|-------------------|--------------------|----------------|-------|-----------------|-------------|-------------|
| Casas (4)     | 20 kW           | 0.6               | 0.9                | 20             | 13.33 | 34.98           | 67.3        | 25.1        |
| Casas (4)     | 20 kW           | 0.6               | 0.9                | 20             | 13.33 | 34.98           | 187.3       | 25.1        |
| Estacionam    | 6 kW            | 0.4               | 0.9                | 6              | 2.66  | 7               | 127.3       | 3.1         |
| Alumbrado     | 10 kW           | 1                 | 0.9                | 10             | 11.11 | 29.15           | 138.4       | 41.8        |
|               |                 |                   |                    |                |       |                 |             |             |
|               |                 |                   | Total              | 56             | 40.43 | 106.11          |             |             |

### Centro de carga Sección "C".

Basándonos en los datos de la tabla de la sección "C" iniciaremos con el cálculo del centro de carga.

Eje "X"

1) Sustituimos valores de la tabla en la fórmula para el eje X

$$Lx = \frac{(20)(67.3) + (20)(187.3) + (6)(127.3) + (10)(138.4)}{20 + 20 + 6 + 10} = \frac{7239.8}{56}$$



2) Resolviendo tenemos que el eje X tendrá una distancia de

$$Lx = 147.40 \text{ mts}$$

Eje "Y"

1) Sustituimos valores de la tabla en la fórmula para el eje Y

$$Lx = \frac{(15)(61.6) + (20)(14.6) + (25)(54.1) + (12)(91.6) + (30)(133.2)}{15 + 20 + 25 + 12 + 30}$$

2) Resolviendo tenemos que el eje Y tendrá una distancia de

$$Ly = 75.13 \text{ mts}$$

De esta manera ubicamos el centro de carga para la sección "A" en el punto:

$$C. C. = (147.40, 75.13)$$

#### 4.2.2 Caso “B”.

Para este caso diseñaremos la red de distribución subterránea usando un transformador para las tres secciones de casas que son un total de 24 y otra red usando otro transformador para la sección de servicios. “Los cálculos y medidas en la sección servicios es la misma que en el caso anterior.”

#### Sección “Casas”

| Tipo de carga   | Carga Instalada | Factor de Demanda | Factor de Potencia | Kilowatts (KW) | kVA   | Corriente (Amp) | Eje X (mts) | Eje Y (mts) |
|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|----------------|-------|-----------------|-------------|-------------|
| Casas (4)       | 20 kW           | 0.6               | 0.9                | 20             | 13.33 | 35              | 51.4        | 178.3       |
| Casas (4)       | 20 kW           | 0.6               | 0.9                | 20             | 13.33 | 35              | 171.4       | 178.3       |
| Estacionamiento | 6 kW            | 0.4               | 0.9                | 6              | 2.66  | 7               | 111.4       | 199.3       |
| Alumbrado       | 10 kW           | 1                 | 0.9                | 10             | 11.11 | 29.15           | 122.5       | 160.6       |
| Casas (4)       | 20 kW           | 0.6               | 0.9                | 20             | 13.33 | 35              | 24.3        | 20.3        |
| Casas (4)       | 20 kW           | 0.6               | 0.9                | 20             | 13.33 | 35              | 24.3        | 135.3       |
| Estacionamiento | 6 kW            | 0.4               | 0.9                | 6              | 2.66  | 7               | 3.3         | 77.8        |
| Alumbrado       | 10 kW           | 1                 | 0.9                | 10             | 11.1  | 29.15           | 42          | 88.9        |
| Casas (4)       | 20 kW           | 0.6               | 0.9                | 20             | 13.33 | 35              | 67.3        | 25.1        |
| Casas (4)       | 20 kW           | 0.6               | 0.9                | 20             | 13.33 | 35              | 187.3       | 25.1        |
| Estacionamiento | 6 kW            | 0.4               | 0.9                | 6              | 2.66  | 7               | 127.3       | 3.1         |
| Alumbrado       | 10 kW           | 1                 | 0.9                | 10             | 11.11 | 29.15           | 138.4       | 41.8        |
|                 |                 |                   |                    |                |       |                 |             |             |
|                 |                 |                   | Total              | 168            | 121.3 | 318.33          |             |             |

#### Centro de carga en la Sección “Casas”.

Basándonos en los datos de la tabla de la sección “A” y usando el mismo método iniciaremos con el cálculo del centro de carga.

Eje “X”

- 1) Sustituimos valores de la tabla en la fórmula para el eje X

$$Lx = \frac{(20)(51.4) + (20)(171.4) + (6)(111.4) + (10)(122.5) \dots}{20 + 20 + 6 + 10 + 20 \dots} = \frac{15001}{168}$$

- 2) Resolviendo tenemos que el eje X tendrá una distancia de

$$Lx = 89.30 \text{ mts}$$

Eje “Y”

- 1) Sustituimos valores de la tabla en la fórmula para el eje Y

$$L_x = \frac{(20)(178.3) + (20)(178.3) + (6)(199.3) + (10)(160.6) \dots}{20 + 10 + 6 + 10 + 20 \dots} = \frac{15841.8}{168}$$

- 2) Resolviendo tenemos que el eje Y tendrá una distancia de

$$L_y = 94.30 \text{ mts}$$

De esta manera ubicamos el centro de carga para la sección “A” en el punto:

$$C.C. = (89.30, 94.30)$$

### Sección “Servicios”

| Tipo de carga | Carga Instalada | Factor de Demanda | Factor de Potencia | Kilowatts (KW) | kVA   | Corriente (Amp) | Eje X (mts) | Eje Y (mts) |
|---------------|-----------------|-------------------|--------------------|----------------|-------|-----------------|-------------|-------------|
| Parque        | 15 kW           | 0.5               | 0.9                | 15             | 8.33  | 21.86           | 106.6       | 61.6        |
| Admon         | 20 kW           | 0.4               | 0.9                | 20             | 8.89  | 23.33           | 147.2       | 14.6        |
| Seguridad     | 25 kW           | 0.5               | 0.9                | 25             | 13.88 | 36.42           | 133.2       | 54.1        |
| Alumbrado     | 12 kW           | 1                 | 0.9                | 12             | 13.33 | 34.98           | 174         | 91.6        |
| Salón         | 30 kW           | 0.5               | 0.9                | 30             | 20    | 52.48           | 169.1       | 133.2       |
|               |                 |                   |                    |                |       |                 |             |             |
|               |                 |                   | Total              | 102            | 64.43 | 169.07          |             |             |

### Centro de carga en la Sección “Servicios”.

Basándonos en los datos de la tabla de la sección “Servicios” iniciaremos con el cálculo del centro de carga.

Eje “X”

- 1) Sustituimos valores de la tabla en la fórmula para el eje X

$$L_x = \frac{(15)(106.6) + (20)(147.2) + (25)(133.2) + (12)(174.0) + (30)(169.1)}{15 + 20 + 25 + 12 + 30}$$

- 2) Resolviendo tenemos que el eje X tendrá una distancia de

$$L_x = 147.40 \text{ mts}$$

Eje “Y”

- 1) Sustituimos valores de la tabla en la fórmula para el eje Y



Eje "X"

- 1) Sustituimos valores de la tabla en la fórmula para el eje X

$$Lx = \frac{(20)(51.4) + (20)(171.4) + (6)(111.4) + (10)(122.5) \dots}{20 + 20 + 6 + 10 + 20 \dots} = \frac{34859.6}{270}$$

- 2) Resolviendo tenemos que el eje X tendrá una distancia de

$$Lx = 129.10 \text{ mts}$$

Eje "Y"

- 1) Sustituimos valores de la tabla en la fórmula para el eje Y

$$Lx = \frac{(20)(178.3) + (20)(178.3) + (6)(199.3) + (10)(160.6) \dots}{20 + 20 + 10 + 6 + 10 + 20 \dots} = \frac{28310.1}{270}$$

- 2) Resolviendo tenemos que el eje Y tendrá una distancia de

$$Ly = 104.85 \text{ mts}$$

De esta manera ubicamos el centro de carga para la sección "A" en el punto:

$$C.C. = (129.10, 104.85)$$

De esta manera queda calculado el centro de carga en cada uno de los casos y secciones, los centros de carga encontrados se pueden ver gráficamente en el apéndice 3.

### 4.3 Selección de conductores, caída de tensión y regulación de voltaje.

Para llevar a cabo la selección de los conductores nos basaremos en el Manual Eléctrico VIAKON los cuales deberán ser de cobre y para baja tensión por lo tanto su capacidad en voltaje será de 600 volts, la temperatura máxima a soportar por estos es de 90°.

El tipo de conductor que usaremos para todo el proyecto es “Cable RHH/RHW-2 XLPE VIAKON de Cobre”. Este cable está formado por un conductor de cobre suave, con aislamiento de polietileno de cadena cruzada (XLPE). Elegimos este conductor ya que su principal aplicación es en sistemas de distribución, instalada en tubo Conduit y debido a su mayor espesor de aislamiento puede instalarse directamente enterrado,

*Nota: “Características de este conductor véase en (Apéndice 4)”.*

Antes de iniciar con los cálculos correspondientes ya señalados, un dato importante acerca de los transformadores, como se mencionó anteriormente estos serán del tipo pedestal con cuatro derivaciones cada uno. La manera de usar las derivaciones de cada transformador será diferente en cada caso y según la sección a energizar ya que el número de cargas implicadas y el diseño de la red subterránea son distintas para cada uno. *“Al inicio de cada caso describiremos la manera en como lo trabajaremos”.* A las cuatro derivaciones del o los transformadores las llamaremos circuitos los cuales están conformados por un cierto número de cargas. “

Basándonos en el artículo de CFE “Bases de diseño para redes de distribución en aéreas urbanas” el cual establece que en baja tensión el porcentaje de caída de tensión tiene que ser del 5 % en sistemas trifásicos y 3% en sistemas monofásicos. Como ya se mencionó este proyecto es para baja tensión. La manera para llevar a cabo el cálculo de caída de tensión será utilizando la siguiente formula:

$$e = \text{Corriente}_{\text{Amperes}} * \text{Distancia}_{\text{Km}} * Z(\text{conductor})_{\Omega/\text{km}}$$

Dividiendo el voltaje de baja tensión y con el obtenido de la fórmula anterior podemos calcular el porcentaje de regulación:

$$\%Reg. = \frac{e_{total}}{127} * 100$$

### 4.3.1 Caso “A”

Este caso consta en 4 secciones “A”, “B”, “C” y “Servicios”, las primeras tres al ser simétricas en cada uno de sus elementos solo realizaremos el cálculo de Caída de tensión y Regulación de voltaje en una de ellas. La ubicación de los transformadores por causas de estética y seguridad no se encontrara exactamente en las coordenadas calculas, tendrá algunos metros de diferencia pero sin salir excesivamente del rango calculado esto se puede observar en el plano del apéndice 3.

#### Descripción sección “A”.

Esta tiene ocho casas de  $170m^2$ , las que dividiremos en dos cargas de cuatro casas, estacionamiento y alumbrado haciendo un total de cuatro cargas:

- Casas(4) con  $34.98_{amperes}$
- Casas(4) con  $34.98_{amperes}$
- Alumbrado con  $7.0_{amperes}$
- Estacionamiento con  $29.15_{amperes}$

#### Selección de Conductores secciones “A”, “B” y “C”

Calibres a usar:

| Calibre | Corriente (A) | Impedancia (Z)  |
|---------|---------------|-----------------|
| 8       | 50            | $2.4 \Omega/km$ |
| 14      | 20            | $9.3 \Omega/km$ |
| 10      | 35            | $3.6 \Omega/km$ |

*Nota: “Los valores de impedancia fueron tomados de la tabla de “Resistencia Eléctrica CA, Reactancia Inductiva e Impedancia para cables de 600 V”, del Manual Eléctrico VIAKON véase en (Apéndice 5).*

#### Caída de tensión y Regulación de Voltaje Sección “A”.

- 1) Primera sección de (4) casas.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en Casas a (4) =  $34.98_{amperes}$
- Distancia del transformador a la carga =  $75.9_{mts}$
- Conductor calibre 8 con impedancia  $2.4_{\Omega/km}$

Calculando caída de tensión

$$e = (34.98_{\text{amperes}}) * (0.0759_{\text{km}}) * (2.4_{\Omega/\text{km}}) = 6.37 \text{ volts}$$

Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% \text{ Reg} = \frac{6.37 \text{ volts}}{127} * 100\% = 5.0\%$$

2) Segunda sección de (4) casas.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en Casas b (4) =  $34.98_{\text{amperes}}$
- Distancia del transformador a la carga =  $45.9_{\text{mts}}$
- Conductor calibre 8 con impedancia  $2.4_{\Omega/\text{km}}$

Calculando caída de tensión

$$e = (34.98_{\text{amperes}}) * (0.0459_{\text{km}}) * (2.4_{\Omega/\text{km}}) = 3.85 \text{ volts}$$

Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% \text{ Reg} = \frac{3.85 \text{ volts}}{127} * 100\% = 3.03 \%$$

3) Estacionamiento.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en Estacionamiento =  $7.0_{\text{amperes}}$
- Distancia del transformador a la carga =  $34.59_{\text{mts}}$
- Conductor calibre 14 con impedancia  $9.3_{\Omega/\text{km}}$

Calculando caída de tensión

$$e = (7.0_{\text{amperes}}) * (0.03459_{\text{km}}) * (9.3_{\Omega/\text{km}}) = 2.25 \text{ volts}$$

Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% \text{ Reg} = \frac{2.25 \text{ volts}}{127} * 100\% = 1.77 \%$$

#### 4) Alumbrado.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en Estacionamiento =  $29.15_{amperes}$
- Distancia del transformador a la carga =  $23.3_{mts}$
- Conductor calibre 10 con impedancia  $3.6\Omega/km$

Calculando caída de tensión

$$e = (29.15_{amperes}) * (0.0233_{km}) * (3.6\Omega/km) = 2.44 \text{ volts}$$

Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% Reg = \frac{2.44 \text{ volts}}{127} * 100\% = 1.92 \%$$

Con esto queda calculado el Porcentaje de Regulación a 5% conforme a lo estipulado por CFE.

*“El plano donde se muestra gráficamente los circuitos con sus medidas correspondientes de la sección “A” se encuentra en el apéndice 6”*

#### **Descripción sección “Servicios”.**

Esta consta de cinco cargas donde dos de ellas estarán en un mismo circuito y estas son “Seguridad” y “Administración”.

- Parque con  $21.86_{amperes}$
- Seguridad con  $36.42_{amperes}$
- Administración con  $23.33_{amperes}$
- Alumbrado con  $34.98_{amperes}$
- Salón de Eventos con  $52.48_{amperes}$

#### **Selección de Conductores sección “Servicios”.**

Calibres a usar:

| Calibre | Corriente (A) | Impedancia (Z) |
|---------|---------------|----------------|
| 6       | 65            | 1.5 Ω/km       |
| 8       | 50            | 2.4 Ω/km       |
| 12      | 22            | 3.6 Ω/km       |
| 4       | 70            | 1.0 Ω/km       |

“Los valores de la impedancia fueron tomados de la tabla de “Resistencia Eléctrica CA, Reactancia Inductiva e Impedancia para cables de 600 V”, del Manual Eléctrico VIAKON y para nuestros fines esta tabla se puede apreciar en el apéndice 5.”

### Caída de tensión y Regulación de Voltaje Sección “Servicios”.

1) Parque.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en Parque = 21.86<sub>amperes</sub>
- Distancia del transformador a la carga = 49.13<sub>mts</sub>
- Conductor calibre 12 con impedancia 3.6<sub>Ω/km</sub>

Calculando caída de tensión

$$e = (21.86_{\text{amperes}}) * (0.04913_{\text{km}}) * (3.6_{\Omega/\text{km}}) = 3.8663 \text{ volts}$$

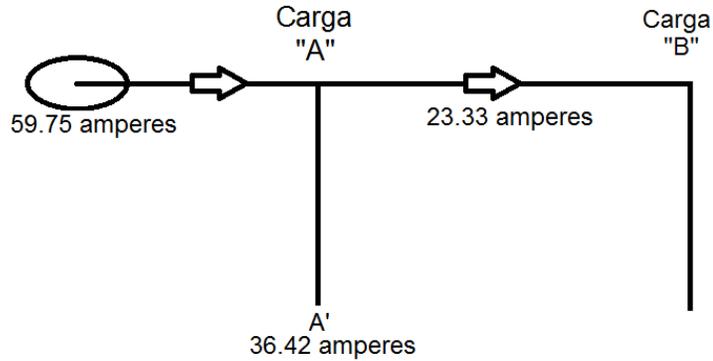
Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% \text{ Reg} = \frac{3.8663 \text{ volts}}{127} * 100\% = 3.04 \%$$

2) Seguridad y Administración.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en el circuito= 59.75<sub>amperes</sub>
- Conductor calibre 6 con impedancia 1.5<sub>Ω/km</sub>
- Conductor calibre 12 con impedancia 3.6<sub>Ω/km</sub>



Mostraremos el circuito en forma lineal para facilitar el cálculo de corrientes, las distancias del transformador a cada carga se pueden ver en el plano de la sección servicios del apéndice 7.

Calculando caída de tensión.

$$e_{0-A} = (59.75_{\text{amperes}}) * (0.00523_{\text{km}}) * (1.5_{\Omega/\text{km}}) = 0.47 \text{ volts}$$

$$e_{A-B} = (23.33_{\text{amperes}}) * (0.05903_{\text{km}}) * (3.6_{\Omega/\text{km}}) = 4.95 \text{ volts}$$

$$e_{\text{total}} = 5.42 \text{ volts}$$

Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% \text{ Reg} = \frac{5.42 \text{ volts}}{127} * 100\% = 4.26 \%$$

### 3) Alumbrado.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en Estacionamiento =  $34.98_{\text{amperes}}$
- Distancia del transformador a la carga =  $45.87_{\text{mts}}$
- Conductor calibre 8 con impedancia  $2.4_{\Omega/\text{km}}$

Calculando caída de tensión

$$e = (34.98_{\text{amperes}}) * (0.04587_{\text{km}}) * (2.4_{\Omega/\text{km}}) = 3.85 \text{ volts}$$

Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% \text{ Reg} = \frac{3.85 \text{ volts}}{127} * 100\% = 3.03 \%$$

4) Salón de Eventos.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en Estacionamiento = 52.48<sub>amperes</sub>
- Distancia del transformador a la carga = 85.23<sub>mts</sub>
- Conductor calibre 4 con impedancia 1.0<sub>Ω/km</sub>

Calculando caída de tensión

$$e = (52.48_{\text{amperes}}) * (0.08523_{\text{km}}) * (1.0_{\Omega/\text{km}}) = 4.47 \text{ volts}$$

Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% \text{ Reg} = \frac{4.47 \text{ volts}}{127} * 100\% = 3.52 \%$$

Con esto queda calculado el Porcentaje de Regulación a 5% conforme a lo estipulado por CFE.

*Nota: “El plano donde se muestra gráficamente los circuitos con sus medidas correspondientes de la sección “servicios” se encuentra en el apéndice 7”*

#### **4.3.2 Caso “B”**

Este caso consta en 2 secciones “Casas” y “Servicios”, la ubicación del transformador por causas de estética y seguridad no se encontrara exactamente en las coordenadas calculas, tendrá algunos metros de diferencia pero sin salir excesivamente del rango calculado esto se podrá observar en el plano del apéndice 3. “La sección servicios tiene las mismas características que en el caso ya que no se realizó ningún cambio”.

## Descripción sección “Casas”

Esta sección constara de cuatro circuitos los cuales usaremos para alimentar las 24 casas, mostraremos los circuitos en forma lineal para facilitar el cálculo de corrientes, las distancias del transformador a cada carga se pueden ver en el plano del apéndice 8.

## Selección de Conductores secciones “A”, “B” y “C”

Calibres a usar:

| Calibre | Corriente (A) | Impedancia (Z)    |
|---------|---------------|-------------------|
| 2       | 115           | 0.67 $\Omega$ /km |
| 6       | 65            | 1.50 $\Omega$ /km |

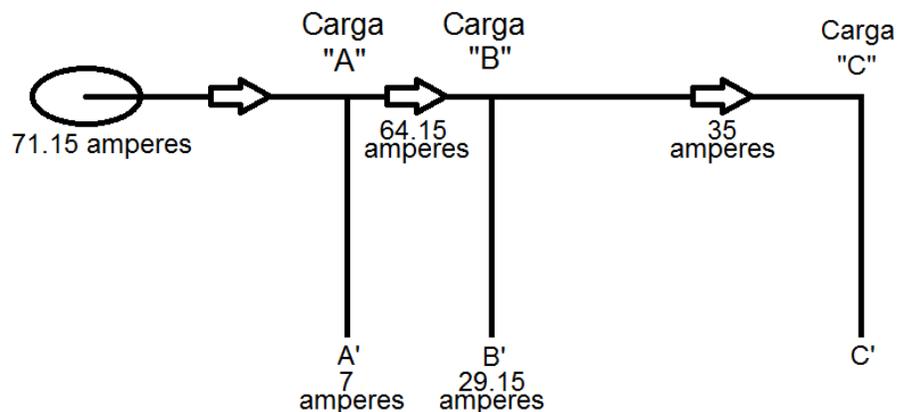
*“Los valores de impedancia fueron tomados de la tabla de “Resistencia Eléctrica CA, Reactancia Inductiva e Impedancia para cables de 600 V”, del Manual Eléctrico VIAKON véase en (Apéndice 5).”*

## Caída de tensión y Regulación de Voltaje Sección “Casas”.

1) Circuito 1.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en el Circuito 1 = 71.15 *amperes*
- Conductor calibre 2 con impedancia 0.67  $\Omega$ /km
- Las tres cargas del circuito pertenecen a la sección C, “El plano donde se muestran los circuitos corresponde al apéndice 8”.



Calculando caída de tensión.

$$e_{0-A} = (71.15_{\text{amperes}}) * (0.07422_{\text{km}}) * (0.67_{\Omega/\text{km}}) = 3.5381_{\text{volts}}$$

$$e_{A-B} = (64.15_{\text{amperes}}) * (0.0171_{\text{km}}) * (0.67_{\Omega/\text{km}}) = 0.7349_{\text{volts}}$$

$$e_{B-C} = (35_{\text{amperes}}) * (0.04497_{\text{km}}) * (0.67_{\Omega/\text{km}}) = 1.0545_{\text{volts}}$$

$$e_{\text{total}} = 5.3275_{\text{volts}}$$

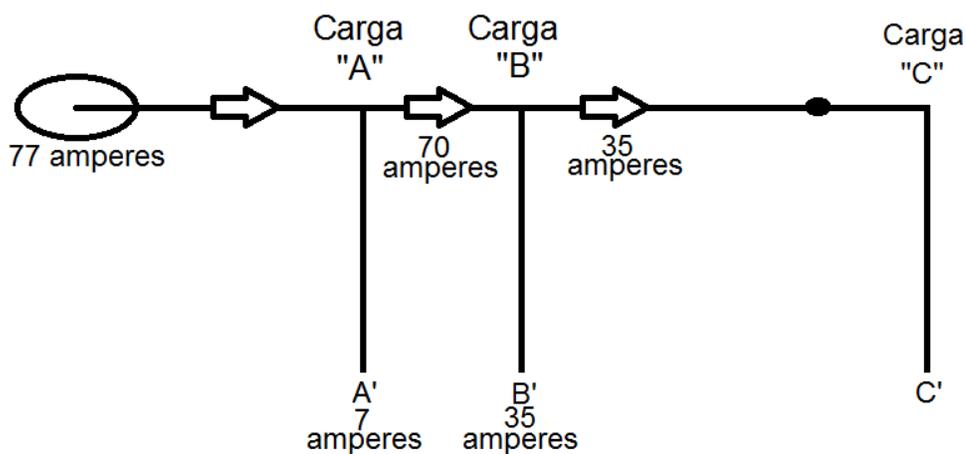
Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% \text{ Reg} = \frac{5.3275_{\text{volts}}}{127} * 100\% = 4.19\%$$

2) Circuito 2.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en el circuito 2 = 77 *amperes*
- Conductor calibre 2 con impedancia 0.67  $\Omega/\text{km}$
- Conductor calibre 6 con impedancia 1.5  $\Omega/\text{km}$
- Las tres cargas del circuito pertenecen a las secciones C y B, "El plano donde se muestran los circuitos corresponde al apéndice 8".



Calculando caída de tensión

$$e = (77_{\text{amperes}}) * (0.01649_{\text{km}}) * (0.67_{\Omega/\text{km}}) = 0.8507 \text{ volts}$$

$$e = (70_{\text{amperes}}) * (0.0346_{\text{km}}) * (0.67_{\Omega/\text{km}}) = 1.6227 \text{ volts}$$

$$e = (35_{\text{amperes}}) * (0.02968_{\text{km}}) * (1.5_{\Omega/\text{km}}) = 1.5582 \text{ volts}$$

$$e_{\text{total}} = 4.0316 \text{ volts}$$

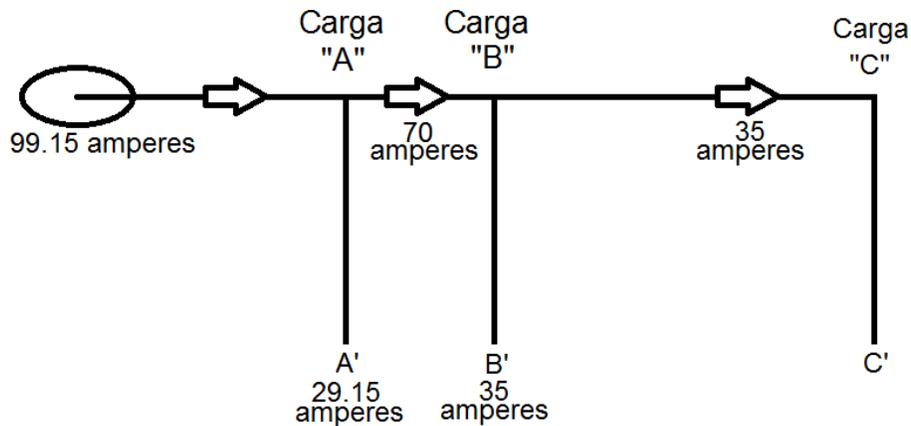
Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% \text{ Reg} = \frac{4.0316 \text{ volts}}{127} * 100\% = 3.1744 \%$$

3) Circuito 3.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en el circuito 3 =  $99.15_{\text{amperes}}$
- Conductor calibre 2 con impedancia  $0.67_{\Omega/\text{km}}$
- Las tres cargas del circuito pertenecen a las secciones B y A, "El plano donde se muestran los circuitos corresponde al apéndice 8".



Calculando caída de tensión

$$e = (99.15_{\text{amperes}}) * (0.01512_{\text{km}}) * (0.67_{\Omega/\text{km}}) = 1.0044 \text{ volts}$$

$$e = (70_{\text{amperes}}) * (0.02281_{\text{km}}) * (0.67_{\Omega/\text{km}}) = 1.0697 \text{ volts}$$

$$e = (35_{\text{amperes}}) * (0.08158_{\text{km}}) * (0.67_{\Omega/\text{km}}) = 1.9130 \text{ volts}$$

$$e_{\text{total}} = 3.9871 \text{ volts}$$

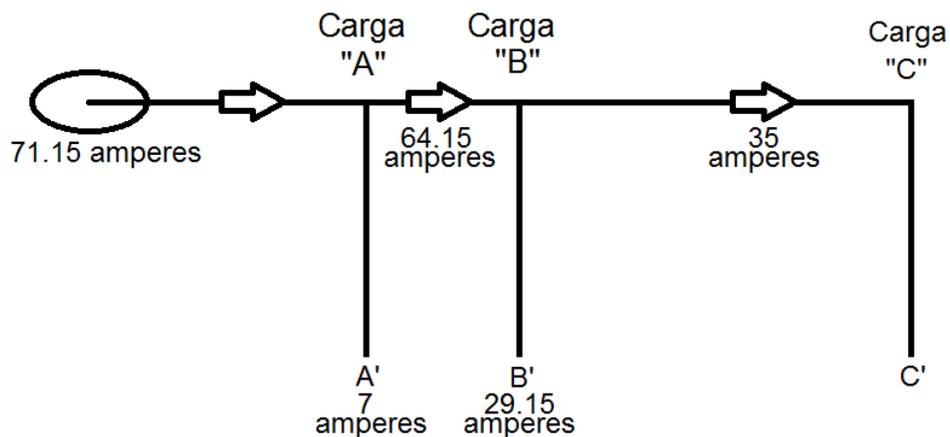
Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% \text{ Reg} = \frac{3.9871 \text{ volts}}{127} * 100\% = 3.1394 \%$$

#### 4) Circuito 4.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en el circuito 4 =  $71.15_{\text{amperes}}$
- Conductor calibre 2 con impedancia  $0.67_{\Omega/\text{km}}$
- Conductor calibre 6 con impedancia  $1.5_{\Omega/\text{km}}$
- Las tres cargas del circuito pertenecen a las secciones A, "El plano donde se muestran los circuitos corresponde al apéndice 8".



Calculando caída de tensión

$$e = (71.15_{\text{amperes}}) * (0.08201_{\text{km}}) * (0.67_{\Omega/\text{km}}) = 3.9094 \text{ volts}$$

$$e = (64.15_{\text{amperes}}) * (0.0051_{\text{km}}) * (0.67_{\Omega/\text{km}}) = 0.2192 \text{ volts}$$

$$e = (35_{\text{amperes}}) * (0.0674_{\text{km}}) * (0.67_{\Omega/\text{km}}) = 1.5805 \text{ volts}$$

$$e_{\text{total}} = 5.7091 \text{ volts}$$

Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% \text{ Reg} = \frac{5.7091 \text{ volts}}{127} * 100\% = 4.4953 \%$$

Con esto queda calculado el Por ciento de Regulación a 5% en los 4 circuitos conforme a lo estipulado por CFE.

### Descripción sección “Servicios”.

Esta consta de cinco cargas donde dos de ellas estarán en un mismo circuito y estas son “Seguridad” y “Administración”.

- Parque con 21.86<sub>amperes</sub>
- Seguridad con 36.42<sub>amperes</sub>
- Administración con 23.33<sub>amperes</sub>
- Alumbrado con 34.98<sub>amperes</sub>
- Salón de Eventos con 52.48<sub>amperes</sub>

### Selección de Conductores sección “Servicios”.

Calibres a usar:

| Calibre | Corriente (A) | Impedancia (Z) |
|---------|---------------|----------------|
| 6       | 65            | 1.5 Ω/km       |
| 8       | 50            | 2.4 Ω/km       |
| 12      | 22            | 3.6 Ω/km       |
| 4       | 70            | 1.0 Ω/km       |

“Los valores de la impedancia fueron tomados de la tabla de “Resistencia Eléctrica CA, Reactancia Inductiva e Impedancia para cables de 600 V”, del Manual Eléctrico VIAKON véase en (Apéndice 5).”

### Caída de tensión y Regulación de Voltaje Sección “Servicios”.

1) Parque.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en Parque =  $21.86_{amperes}$
- Distancia del transformador a la carga =  $49.13_{mts}$
- Conductor calibre 12 con impedancia  $3.6\Omega/km$

Calculando caída de tensión

$$e = (21.86_{amperes}) * (0.04913_{km}) * (3.6\Omega/km) = 3.8663 \text{ volts}$$

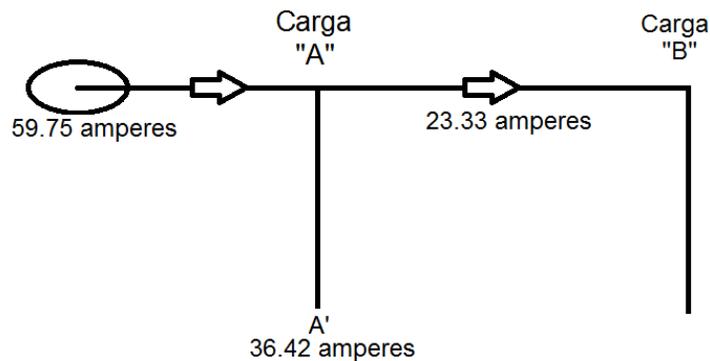
Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% Reg = \frac{3.8663 \text{ volts}}{127} * 100\% = 3.04 \%$$

2) Seguridad y Administración.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en el circuito =  $59.75_{amperes}$
- Conductor calibre 6 con impedancia  $1.5\Omega/km$
- Conductor calibre 12 con impedancia  $3.6\Omega/km$



Mostraremos el circuito en forma lineal para facilitar el cálculo de corrientes, las distancias del transformador a cada carga se pueden ver en el plano de la sección servicios del apéndice 7.

Calculando caída de tensión.

$$e_{0-A} = (59.75_{\text{amperes}}) * (0.00523_{\text{km}}) * (1.5_{\Omega/\text{km}}) = 0.47 \text{ volts}$$

$$e_{A-B} = (23.33_{\text{amperes}}) * (0.05903_{\text{km}}) * (3.6_{\Omega/\text{km}}) = 4.95 \text{ volts}$$

$$e_{\text{total}} = 5.42 \text{ volts}$$

Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% \text{ Reg} = \frac{5.42 \text{ volts}}{127} * 100\% = 4.26 \%$$

### 3) Alumbrado.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en Estacionamiento =  $34.98_{\text{amperes}}$
- Distancia del transformador a la carga =  $45.87_{\text{mts}}$
- Conductor calibre 8 con impedancia  $2.4_{\Omega/\text{km}}$

Calculando caída de tensión

$$e = (34.98_{\text{amperes}}) * (0.04587_{\text{km}}) * (2.4_{\Omega/\text{km}}) = 3.85 \text{ volts}$$

Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% \text{ Reg} = \frac{3.85 \text{ volts}}{127} * 100\% = 3.03 \%$$

### 4) Salón de Eventos.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en Estacionamiento =  $52.48_{\text{amperes}}$
- Distancia del transformador a la carga =  $85.23_{\text{mts}}$
- Conductor calibre 4 con impedancia  $1.0_{\Omega/\text{km}}$

Calculando caída de tensión

$$e = (52.48_{\text{amperes}}) * (0.08523_{\text{km}}) * (1.0_{\Omega/\text{km}}) = 4.47_{\text{volts}}$$

Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% Reg = \frac{4.47 \text{ volts}}{127} * 100\% = 3.52 \%$$

Con esto queda calculado el Por ciento de Regulación a 5% conforme a lo estipulado por CFE.

*“El plano donde se muestra gráficamente los circuitos de la sección “servicios” se encuentra en el apéndice 7”*

#### **4.3.3 Caso “c”**

En este caso se realizara toda la red subterránea usando un solo transformador para las cuatro secciones.

#### **Descripción sección “Casas”.**

Este caso constara de cuatro circuitos los cuales usaremos para alimentar todas las cargas, mostraremos los circuitos en forma lineal para facilitar el cálculo de corrientes, las distancias del transformador a cada carga se pueden ver en el plano del apéndice 9.

#### **Selección de Conductores Caso “C”**

Calibres a usar:

| Calibre | Corriente (A) | Impedancia (Z)    |
|---------|---------------|-------------------|
| 1       | 130           | 0.55 $\Omega$ /km |
| 1/0     | 150           | 0.43 $\Omega$ /km |
| 3/0     | 200           | 0.31 $\Omega$ /km |

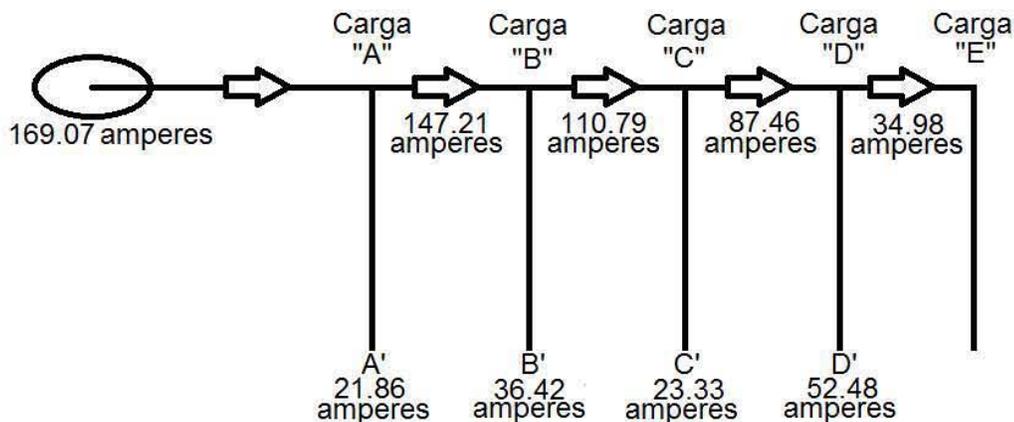
*“Los valores de impedancia fueron tomados de la tabla de “Resistencia Eléctrica CA, Reactancia Inductiva e Impedancia para cables de 600 V”, del Manual Eléctrico VIAKON véase en (Apéndice 5).”*

## Caída de tensión y Regulación de Voltaje Sección "Casas".

1) Circuito 1.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en el Circuito 1 = 169.07 *amperes*
- Conductor calibre 3/0 con impedancia  $0.31\Omega/km$
- Las cinco cargas del circuito pertenecen a la sección "Servicios", el circuito real se puede ver en el plano del apéndice 9.



Calculando caída de tensión.

$$e_{0-A} = (169.07 \text{ amperes}) * (0.07369 \text{ km}) * (0.31\Omega/km) = 3.8622 \text{ volts}$$

$$e_{A-B} = (147.21 \text{ amperes}) * (0.0266 \text{ km}) * (0.31\Omega/km) = 1.2138 \text{ volts}$$

$$e_{B-C} = (110.71 \text{ amperes}) * (0.014 \text{ km}) * (0.31\Omega/km) = 0.4804 \text{ volts}$$

$$e_{B-C} = (87.46 \text{ amperes}) * (0.0219 \text{ km}) * (0.31\Omega/km) = 0.5937 \text{ volts}$$

$$e_{B-C} = (34.98 \text{ amperes}) * (0.0049 \text{ km}) * (0.31\Omega/km) = 0.0531 \text{ volts}$$

$$e_{total} = 6.2032 \text{ volts}$$

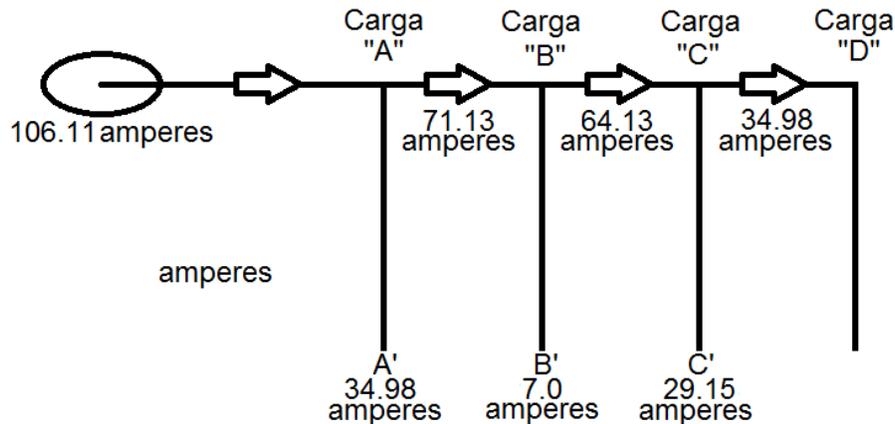
Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% Reg = \frac{6.2032 \text{ volts}}{127} * 100\% = 4.88$$

2) Circuito 2.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en el circuito 2 = 106.11 *amperes*
- Conductor calibre 1/0 con impedancia 0.43  $\Omega/km$
- Conductor calibre 3/0 con impedancia 0.31  $\Omega/km$
- Las cuatro cargas del circuito pertenecen a la sección A, "el circuito real se puede ver en el plano del apéndice 9".



Calculando caída de tensión.

$$e_{0-A} = (106.11 \text{ amperes}) * (0.09964 \text{ km}) * (0.31 \Omega/km) = 3.2775 \text{ volts}$$

$$e_{A-B} = (71.13 \text{ amperes}) * (0.04344 \text{ km}) * (0.43 \Omega/km) = 1.3286 \text{ volts}$$

$$e_{B-C} = (64.13 \text{ amperes}) * (0.0141 \text{ km}) * (0.43 \Omega/km) = 0.3888 \text{ volts}$$

$$e_{B-D} = (34.98 \text{ amperes}) * (0.03997 \text{ km}) * (0.43 \Omega/km) = 0.6012 \text{ volts}$$

$$e_{total} = 5.5961 \text{ volts}$$

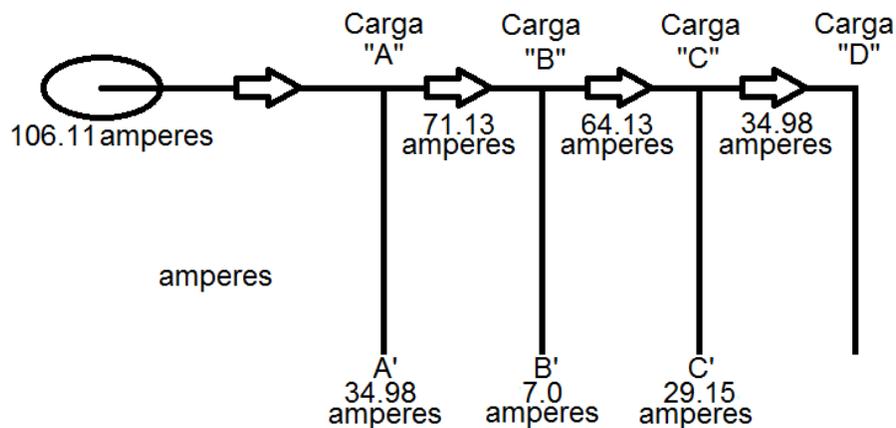
Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% Reg = \frac{5.5961 \text{ volts}}{127} * 100\% = 4.40$$

3) Circuito 3.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en el circuito 3 = 106.11 *amperes*
- Conductor calibre 1 con impedancia  $0.55 \Omega/km$
- Conductor calibre  $3/0$  con impedancia  $0.31 \Omega/km$
- Las cuatro cargas del circuito pertenecen a la sección B, “el circuito real se puede ver en el plano del apéndice 9”.



Calculando caída de tensión.

$$e_{0-A} = (106.11 \text{ amperes}) * (0.06834 \text{ km}) * (0.31 \Omega/km) = 2.2479 \text{ volts}$$

$$e_{A-B} = (71.13 \text{ amperes}) * (0.0184 \text{ km}) * (0.55 \Omega/km) = 0.7198 \text{ volts}$$

$$e_{B-C} = (64.13 \text{ amperes}) * (0.0325 \text{ km}) * (0.55 \Omega/km) = 0.6489 \text{ volts}$$

$$e_{B-C} = (34.98 \text{ amperes}) * (0.07968 \text{ km}) * (0.55 \Omega/km) = 1.5329 \text{ volts}$$

$$e_{total} = 5.1495 \text{ volts}$$

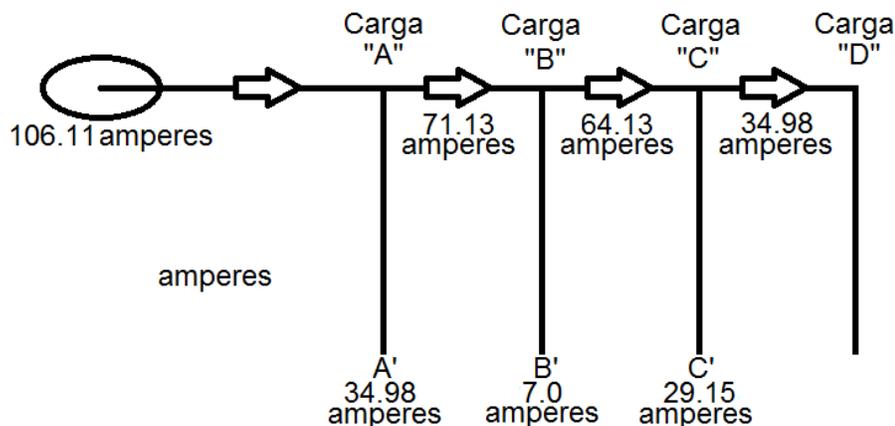
Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% Reg = \frac{5.1495 \text{ volts}}{127} * 100\% = 4.05$$

4) Circuito 4.

Iniciaremos los cálculos teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Corriente total en el circuito 4 = 106.11 *amperes*
- Conductor calibre 1/0 con impedancia 0.43  $\Omega/km$
- Conductor calibre 3/0 con impedancia 0.31  $\Omega/km$
- Las cuatro cargas del circuito pertenecen a la sección C, "el circuito real se puede ver en el plano del apéndice 9".



Calculando caída de tensión

$$e_{0-A} = (106.11 \text{ amperes}) * (0.08196 \text{ km}) * (0.31 \Omega/km) = 2.6960 \text{ volts}$$

$$e_{A-B} = (71.13 \text{ amperes}) * (0.05385 \text{ km}) * (0.43 \Omega/km) = 1.6470 \text{ volts}$$

$$e_{B-C} = (64.13 \text{ amperes}) * (0.0141 \text{ km}) * (0.43 \Omega/km) = 0.3888 \text{ volts}$$

$$e_{C-D} = (34.98 \text{ amperes}) * (0.04477 \text{ km}) * (0.43 \Omega/km) = 0.6734 \text{ volts}$$

$$e_{total} = 5.4052 \text{ volts}$$

Usamos el voltaje anterior para calcular el % Regulación

$$\% Reg = \frac{5.4052 \text{ volts}}{127} * 100\% = 4.25$$

#### 4.4 Tablas de Resultados.

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos en cada uno de los casos, los que usaremos para definir la capacidad del o los transformadores.

- Caso "A", 4 transformadores.

| Sección   | KiloWatts | kVA   | Amperes |
|-----------|-----------|-------|---------|
| A,B Y C   | 56        | 40.43 | 106.11  |
| Servicios | 102       | 64.43 | 169.07  |

- Caso "B", 2 transformadores.

| Sección   | KiloWatts | kVA   | Amperes |
|-----------|-----------|-------|---------|
| Casas     | 168       | 121.3 | 318.33  |
| Servicios | 102       | 64.43 | 169.07  |

- Caso "C", un solo transformador.

| Sección         | KiloWatts | kVA    | Amperes |
|-----------------|-----------|--------|---------|
| Fraccionamiento | 168       | 185.72 | 318.33  |

## Transformadores.

Los resultados de kva's serán redondeados a una capacidad comercial establecida por los fabricantes".

Caso "A", 4 transformadores.

- De 40.43 a 50 kva.
- De 64.43 a 75 kva.

| Transformadores | Materiales y equipo (\$) | Mano de obra (\$) | Obra civil (\$) | Pruebas para la puesta en operación (\$) | Conexión (\$) | Supervisión (\$) | Total (\$) |
|-----------------|--------------------------|-------------------|-----------------|--|---------------|------------------|------------|
| (3) 50 kva      | 97,390.80                | 4,647.77          | 4,306.58        | 1,008.94                                 | 142.48        | 1,004.90         | 108,501.47 |
| 75 kva          | 83,005.66                | 4,647.77          | 4,306.58        | 1,008.94                                 | 142.48        | 1,004.90         | 94,116.34  |
|                 |                          |                   |                 |  |               |                  |            |
|                 |                          |                   |                 |  |               |                  |            |
|                 |                          |                   |                 |  |               | Total (\$)       | 419,620.75 |

Caso "B", 2 transformadores.

- De 121.3 a 150 kva.
- De 64.43 a 75 kva.

| Transformadores | Materiales y equipo (\$) | Mano de obra (\$) | Obra civil (\$) | Pruebas para la puesta en operación (\$) | Conexión (\$) | Supervisión (\$) | Total (\$) |
|-----------------|--------------------------|-------------------|-----------------|--|---------------|------------------|------------|
| 150 kva         | 182,815.70               | 9,314.16          | 5,523.61        | 1,153.39                                 | 427.44        | 1,548.85         | 201,143.16 |
| 75 kva          | 83,005.66                | 4,647.77          | 4,306.58        | 1,008.94                                 | 142.48        | 1,004.90         | 94,116.34  |
|                 |                          |                   |                 |  |               |                  |            |
|                 |                          |                   |                 |  |               |                  |            |
|                 |                          |                   |                 |  |               | Total (\$)       | 295,259.50 |

Caso "C", un solo transformador.

- De 185.72 a 225 kva.

| Transformadores | Materiales y equipo (\$) | Mano de obra (\$) | Obra civil (\$) | Pruebas para la puesta en operación (\$) | Conexión (\$) | Supervisión (\$) | Total (\$) |
|-----------------|--------------------------|-------------------|-----------------|--|---------------|------------------|------------|
| 225 kva         | 233,519.38               | 9,314.16          | 5,523.61        | 1,446.98                                 | 427.44        | 2,208.92         | 252,506.92 |

En cada uno de los casos queda calculado el Porcentaje de Regulación a 5% conforme a lo estipulado por CFE.

Una aclaración importante en algunas de las cargas de los circuitos: la capacidad de corriente del conductor supera por un poco a la corriente de la carga, esto se debe a que se tuvo que cambiar la capacidad del conductor para poder ajustar y obtener el porcentaje de regulación a 5%, ya que si se usaba el conductor más aproximado a la corriente específica no se lograría el porcentaje de regulación requerido.

De acuerdo a las tablas de resultados recomendamos dos opciones para llevar a cabo la instalación las cuales son el Caso "C" y el Caso "B", la primera opción por tener un menor costo en comparación a las otras y cumplir con los requerimientos establecidos, pero al tener un solo transformador para todo el fraccionamiento lo hace un poco vulnerable en caso de una falla, la segunda opción cuenta con dos transformadores y al igual que la anterior cumple con los requerimientos establecidos, en caso de alguna falla en un transformador el fraccionamiento no quedaría totalmente ausente de suministro eléctrico, respecto al precio este varía con \$ 42,752.58 pesos en comparación a la opción de un solo transformador, El Caso "A" quedo totalmente descartado debido a tener un costo demasiado elevado.

## **Conclusiones.**

La electricidad en la actualidad es un sinónimo de crecimiento para las sociedades, industrias, telecomunicaciones, transportes y demás servicios que usamos a diario.

Al término de esta tesis se logró obtener un conocimiento más amplio sobre la realización de un proyecto sobre instalaciones eléctricas, conforme al avance de esta fueron surgiendo nuevas problemáticas y dudas que no se tenían en cuenta las cuales al resolverlas nos dejaron nuevos conocimientos. Otro logro importante fue aplicar gran cantidad de temas aprendidos en materias tales como Análisis de Circuitos, Electricidad y Magnetismo, Sistemas Eléctricos de Potencia 1 y 2, Sistemas de Distribución etc.

La manera cómo se aplicó los anterior fue por ejemplo en cálculos eléctricos empleados para la construcción de redes de distribución, selección de transformadores los cuales deben estar dentro de los valores calculados y dejarlos con el porcentaje de regulación establecido por CFE.

También se muestra la selección de conductores de acuerdo a los valores calculados esto con ayuda de tablas de especificaciones proporcionadas por el fabricante, a su vez se muestra cómo fue posible ubicar los centros de carga con el fin de tener una distribución balanceada, otro punto importante fue el uso de algunos softwares por ejemplo Excel, Word y AutoCAD 2D, un programa de dibujo asistido por computadora el cual fue una herramienta muy útil para diseñar el fraccionamiento y poder mostrar gráficamente la localización de centros de carga, circuitos, secciones del fraccionamiento etc.

Habiendo terminado el objetivo señalado, se puede concluir que todo lo aprendido durante la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica fue esencial para llevar a cabo este proyecto logrando que la eficiencia de la red subterránea sea aceptable y funcional para ser aplicada en cualquier proyecto de este tipo, pero debemos tener en cuenta que se tiene que estar en constante actualización ya que día a día es necesario el uso de nuevas herramientas por lo cual es necesario estar en contacto con esta nueva tecnología.

## **Bibliografía**

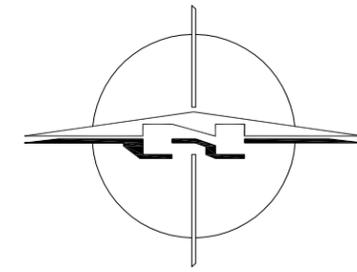
- El ABC de las instalaciones eléctricas residenciales, Gilberto Enríquez Harper, Primera Edición 1998.
- Introducción al análisis de circuitos, Robert L. Boylestad, Pearson Educación 2004.
- Manual de Instalaciones eléctricas Residenciales e Industriales, Gilberto Enríquez Harper, Segunda Edición, Limusa 2005.
- Fundamentos de electricidad, Gilberto Enríquez Harper, Primera Edición 1994.
- Elementos de diseño de las instalaciones eléctricas, Gilberto Henríquez Harper, Segunda Edición 2003.
- Guía para el Diseño de instalaciones eléctricas residenciales, industriales y comerciales, Gilberto Enríquez Harper, Segunda Edición, Limusa 2004.
- Pruebas y mantenimiento a equipos eléctricos, Gilberto Enríquez Harper, Limusa 2009.
- Mantenimiento de redes eléctricas subterráneas de baja tensión, Bernabé Jiménez Padilla, Primera Edición, INNOVA 2012.
- CFE, Bases de diseño para redes de distribución aéreas, subterráneas urbanas.
- Manual de instalaciones eléctricas, Gilberto Enríquez Harper, Segunda Edición, 2007.
- Instalaciones eléctricas, Alberto Guerrero Fernández, Primera Edición, 2004.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012.
- Historia de la industria eléctrica en México, Tomo 1, Enrique de la Garza Toledo, Primera Edición, 1994.
- Historia de la industria eléctrica en México, Tomo 2, Enrique de la Garza Toledo, Primera Edición, 1994.
- Manual del electricista VIAKON 2013.
- Manual eléctrico VIAKON, Tercera Edición 2012.
- Normas de Distribución.- Construcción de Sistemas Subterráneos 2008 (actualizado al 20 de octubre 2010)
- Catálogo de transformadores pedestal CFE.
- El sistema eléctrico nacional, pdf Cfe.

## **Cibergrafía.**

- [www.apuntescientificos.org](http://www.apuntescientificos.org)
- [www.definicionabc.com](http://www.definicionabc.com)
- [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)

## Apéndices y anexos

- Apéndice 1 “Plano Principal”.
  - Apéndice 2 “Cálculos Demanda Máxima y Corriente”.
  - Apéndice 3 “Planos Centros de Carga caso A, B y C”.
  - Apéndice 4 “Plano de Circuitos sección “A”, caso A”.
  - Apéndice 5 “Plano de Circuitos sección “Servicios”, caso A”.
  - Apéndice 6 “Plano de Circuitos sección “Casas”, caso B”.
  - Apéndice 7 “Plano de Circuitos caso C”
- 
- Anexo 1 “Características del Conductor a usar”.
  - Anexo 2 “Tabla de Reactancias”.



|              |                               |                        |
|--------------|-------------------------------|------------------------|
| Proyecto:    | Fraccionamiento Habitacional. |                        |
| Plano:       | Principal.                    | Apendice I.            |
| ESCALA       | Fecha:                        | 5/Nov./2013            |
| <b>1:3.2</b> | Realizó:                      | Enoch Santiago Rivero. |

## Apéndice 2

La Formula usada para calcular la Demanda Máxima en las cargas mostradas en las tablas es la siguiente:

$$Dem. Max = \frac{(Factor Demanda) * (Carga Instalada)}{(Factor de Potencia)}$$

Estos son los cálculos para una sección, al contar las otras dos secciones con los mismos elementos y las mismas capacidades no cambian en nada únicamente en las distancias en el eje X y eje Y. También estas mismas son usadas en los tres casos descritos.

- Demanda Máxima en Casas (4) a, usando los datos de las tablas mostradas.

$$Dem. Max = \frac{(0.6) * (20)}{(0.9)} = 13.33$$

$$Dem. Max = 13.33 \text{ kva}$$

- Demanda Máxima en Casas (4) b, usando los datos de las tablas mostradas.

$$Dem. Max = \frac{(0.6) * (20)}{(0.9)} = 13.33$$

$$Dem. Max = 13.33 \text{ kva}$$

- Demanda Máxima en Estacionamiento, usando los datos de las tablas mostradas.

$$Dem. Max = \frac{(0.6) * (6)}{(0.9)} = 2.66$$

$$Dem. Max = 2.66 \text{ kva}$$

- Demanda Máxima en Alumbrado, usando los datos de las tablas mostradas.

$$Dem. Max = \frac{(0.6) * (10)}{(0.9)} = 11.11$$

$$Dem. Max = 11.11 \text{ kva}$$

Estos son los cálculos para la sección servicios, al contar con los mismos elementos y las mismas capacidades no cambian en nada en ninguno de los tres casos descritos, únicamente en las distancias en el eje X y eje Y.

- Demanda Máxima en Parque, usando los datos de las tablas mostradas.

$$Dem. Max = \frac{(0.5) * (15)}{(0.9)} = 8.33$$

$$Dem. Max = 8.33 \text{ kva}$$

- Demanda Máxima en Administración, usando los datos de las tablas mostradas.

$$Dem. Max = \frac{(0.4) * (20)}{(0.9)} = 8.89$$

$$Dem. Max = 8.89 \text{ kva}$$

- Demanda Máxima en Seguridad, usando los datos de las tablas mostradas.

$$Dem. Max = \frac{(0.5) * (25)}{(0.9)} = 13.88$$

$$Dem. Max = 13.88 \text{ kva}$$

- Demanda Máxima en Alumbrado, usando los datos de las tablas mostradas.

$$Dem. Max = \frac{(1) * (12)}{(0.9)} = 13.33$$

$$Dem. Max = 13.33 \text{ kva}$$

- Demanda Máxima en Salón, usando los datos de las tablas mostradas.

$$Dem. Max = \frac{(0.5) * (35)}{(0.9)} = 20$$

$$Dem. Max = 20 \text{ kva}$$

## Apéndice 2

La Formula usada para calcular la Corriente en las cargas mostradas en las tablas es la siguiente:

$$I = \frac{\text{Demanda Maxima (kva)}}{\sqrt{3} * kV}$$

Estos son los cálculos para una sección, al contar las otras dos secciones con los mismos elementos y las mismas capacidades no cambian en nada únicamente en las distancias en el eje X y eje Y. También estas mismas son usadas en los tres casos descritos.

- Corriente en Casas (4) a, usando los datos de las tablas mostradas.

$$I = \frac{13.33 \text{ (kva)}}{\sqrt{3} * 220} = 34.98$$

$$I = 34.98 \text{ amperes}$$

- Corriente en Casas (4) b, usando los datos de las tablas mostradas.

$$I = \frac{13.33 \text{ (kva)}}{\sqrt{3} * 220} = 34.98$$

$$I = 34.98 \text{ amperes}$$

- Corriente en Estacionamiento, usando los datos de las tablas mostradas.

$$I = \frac{2.66 \text{ (kva)}}{\sqrt{3} * 220} = 7.0$$

$$I = 7.0 \text{ amperes}$$

- Corriente en Alumbrado, usando los datos de las tablas mostradas.

$$I = \frac{11.11 \text{ (kva)}}{\sqrt{3} * 220} = 29.15$$

$$I = 29.15 \text{ amperes}$$

Estos son los cálculos para la sección servicios, al contar con los mismos elementos y las mismas capacidades no cambian en nada en ninguno de los tres casos descritos, únicamente en las distancias en el eje X y eje Y.

- Corriente en Parque, usando los datos de las tablas mostradas.

$$I = \frac{8.33 (kva)}{\sqrt{3} * 220} = 21.86$$

$$I = 21.86 \text{ amperes}$$

- Corriente en Administración, usando los datos de las tablas mostradas.

$$I = \frac{8.89 (kva)}{\sqrt{3} * 220} = 23.33$$

$$I = 23.33 \text{ amperes}$$

- Corriente en Seguridad, usando los datos de las tablas mostradas.

$$I = \frac{13.88 (kva)}{\sqrt{3} * 220} = 36.42$$

$$I = 36.42 \text{ amperes}$$

- Corriente en Alumbrado, usando los datos de las tablas mostradas.

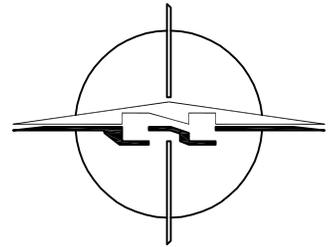
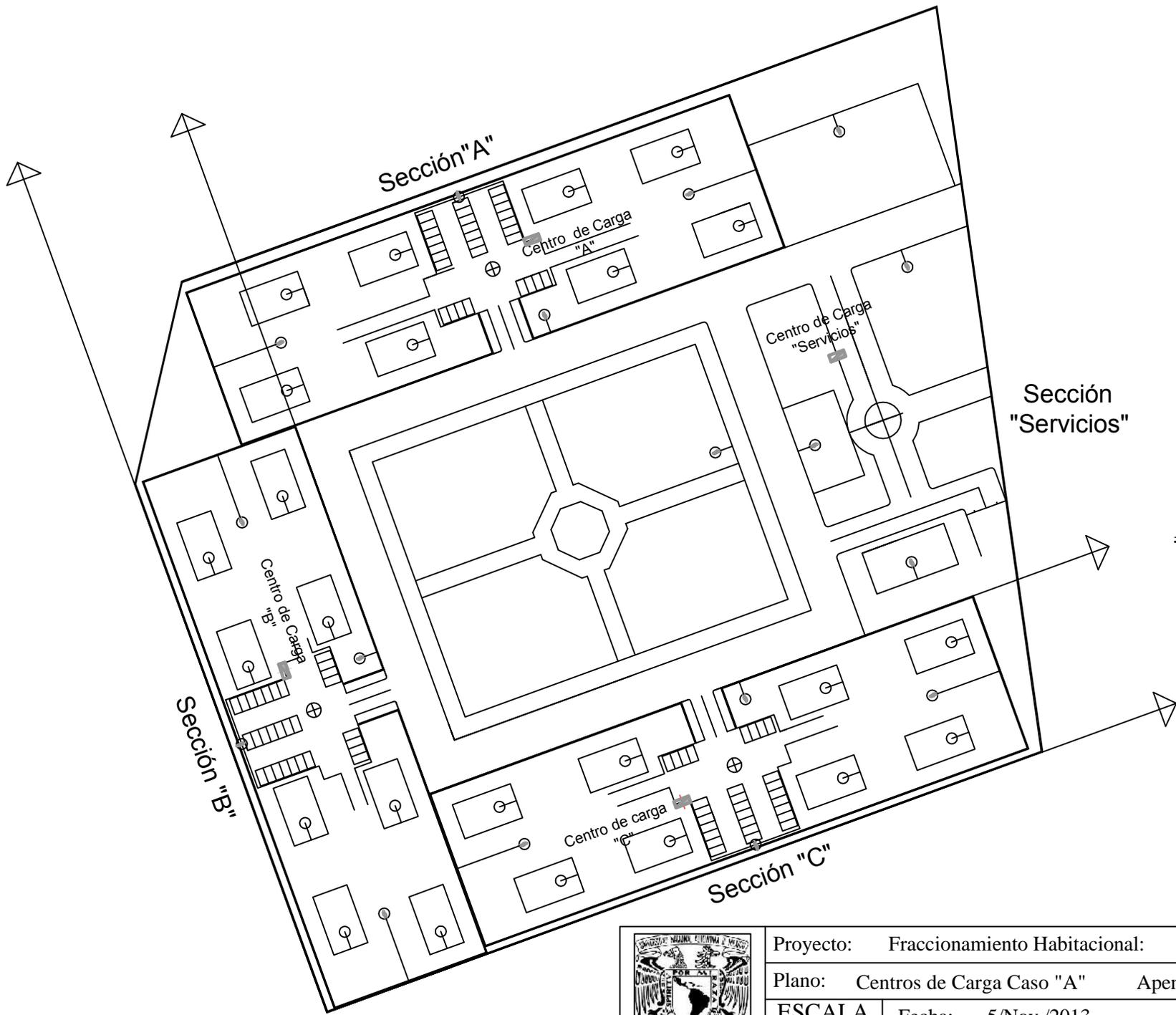
$$I = \frac{13.33 (kva)}{\sqrt{3} * 220} = 34.98$$

$$I = 34.98 \text{ amperes}$$

- Corriente en Salón, usando los datos de las tablas mostradas.

$$I = \frac{20 (kva)}{\sqrt{3} * 220} = 52.48$$

$$I = 52.48 \text{ amperes}$$



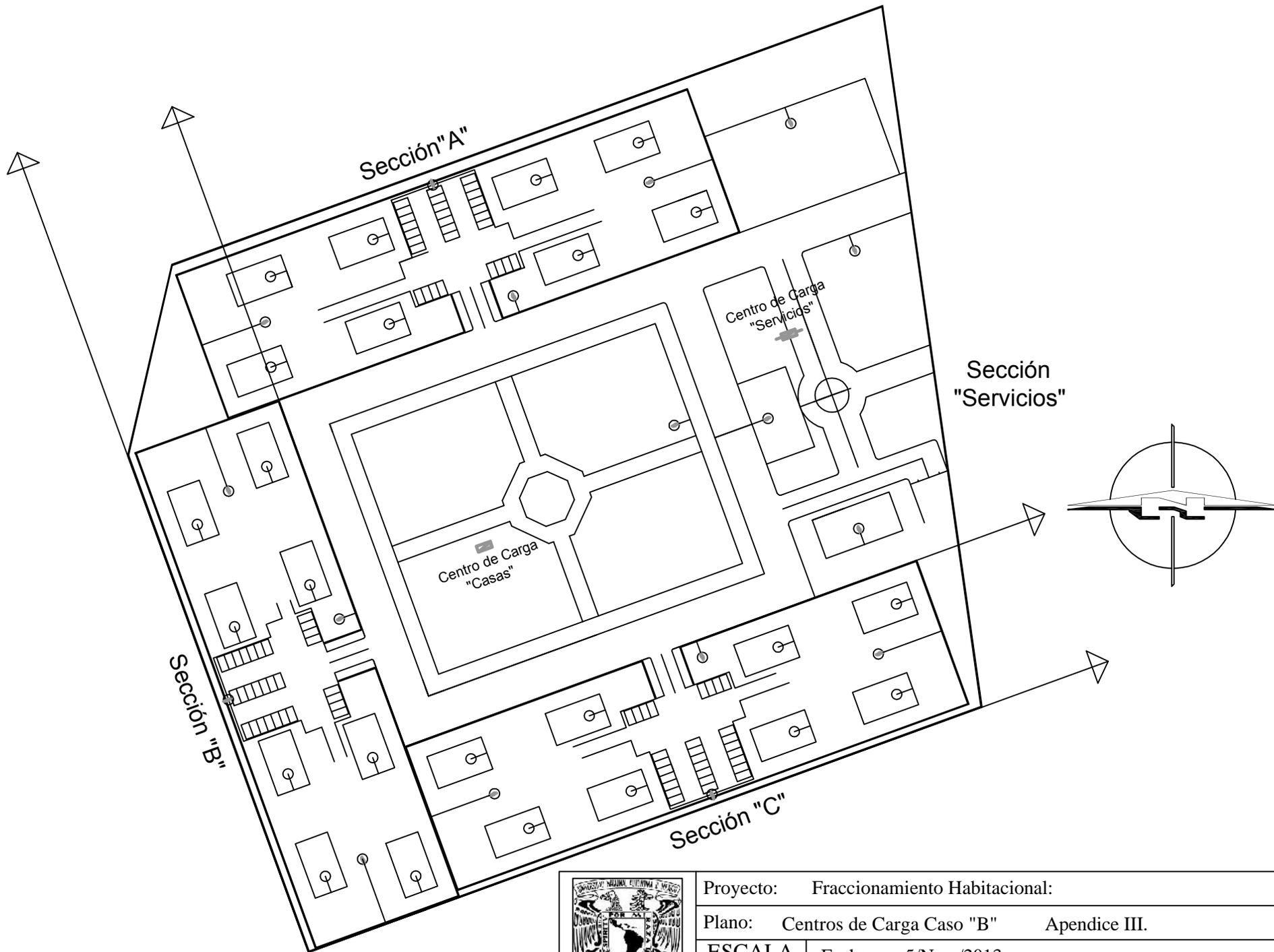
Proyecto: Fraccionamiento Habitacional:

Plano: Centros de Carga Caso "A" Apendice III.

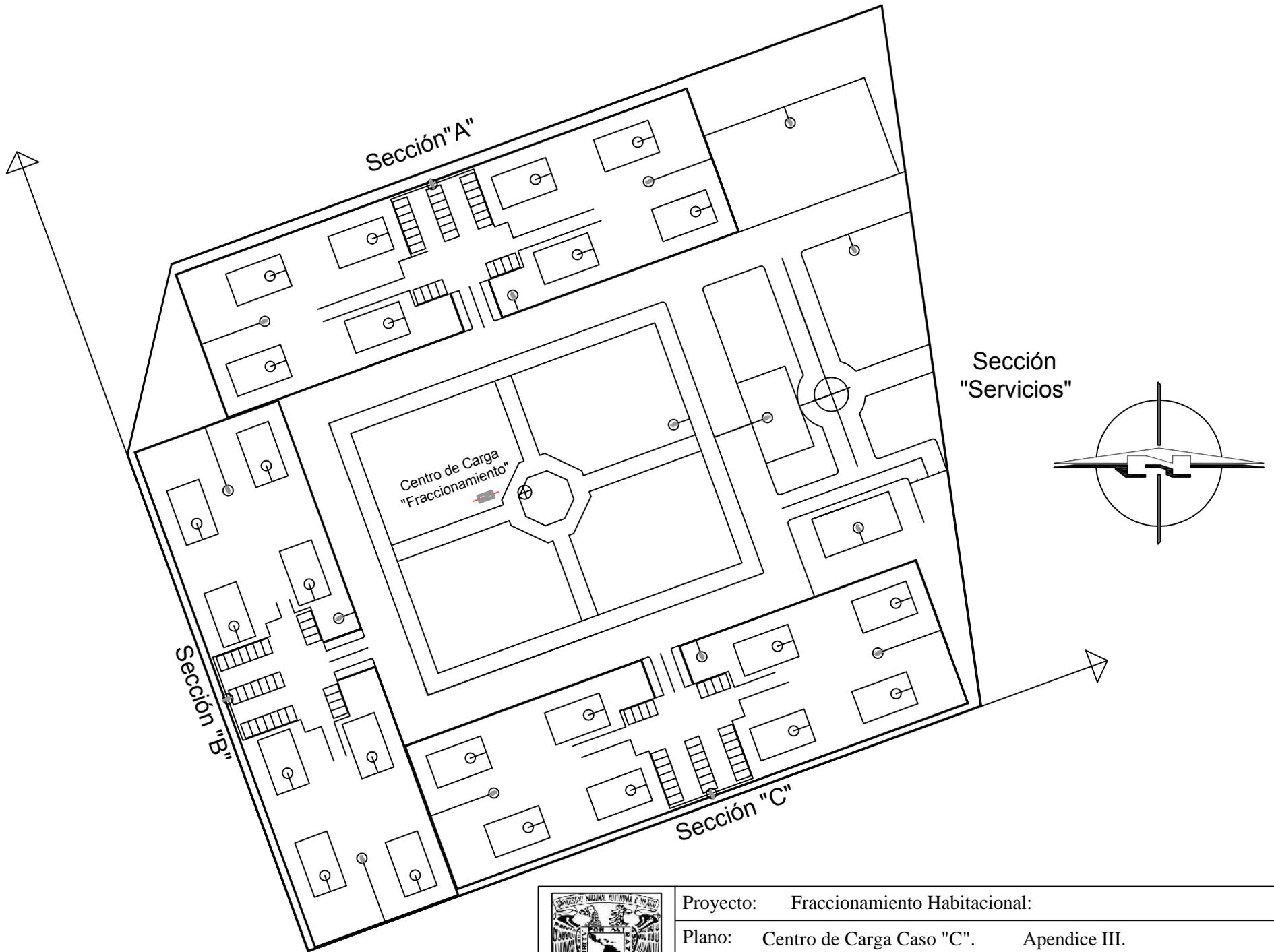
ESCALA Fecha: 5/Nov./2013

**1:14.78**

Realizó: Enoch Santiago Rivero.



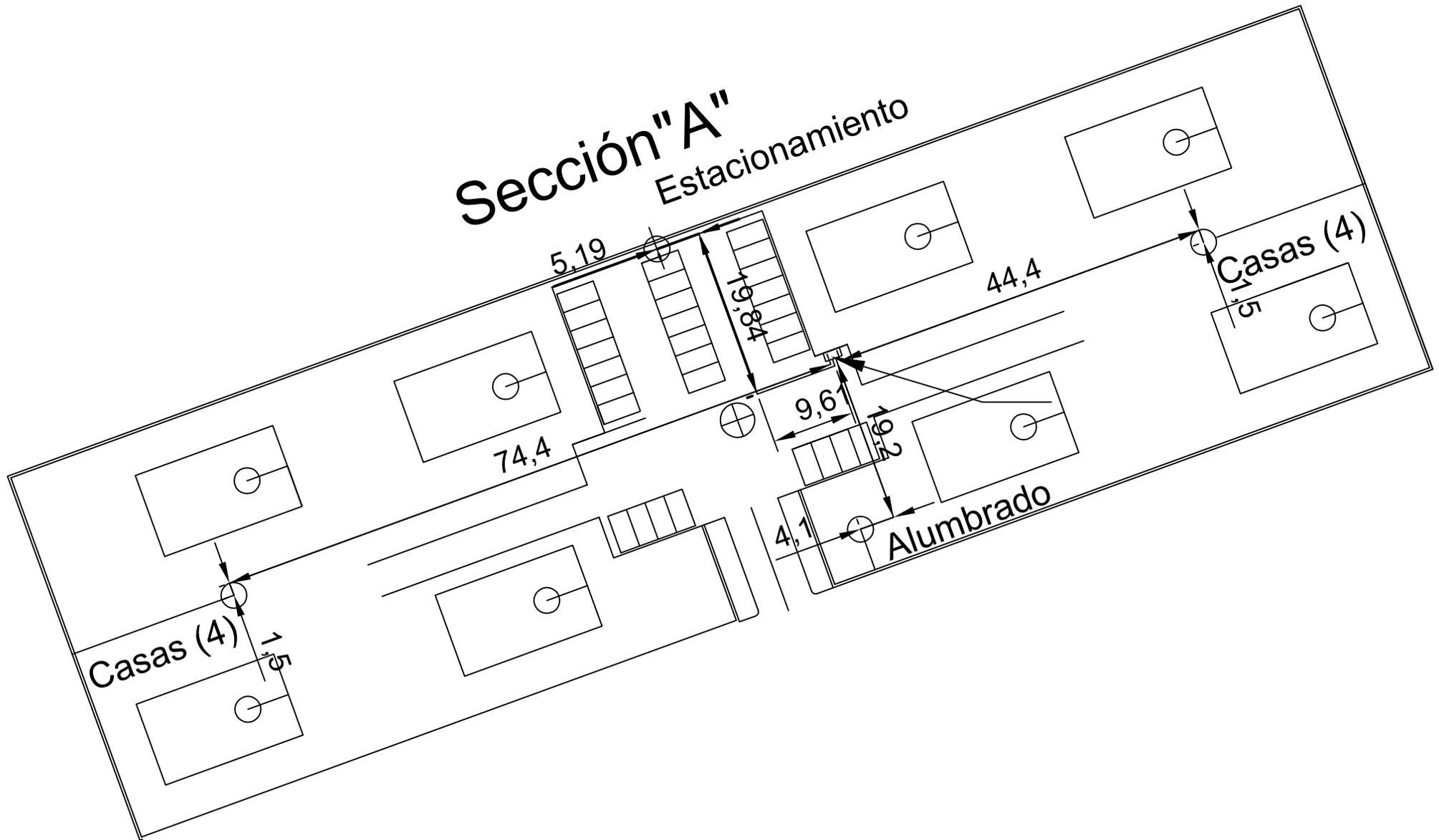
|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| Proyecto: Fraccionamiento Habitacional:             |                                 |
| Plano: Centros de Carga Caso "B"      Apendice III. |                                 |
| ESCALA  | Fecha: 5/Nov./2013              |
| <b>1:14.78</b>                                      | Realizó: Enoch Santiago Rivero. |



|  |                                 |
|--|---------------------------------|
| Proyecto: Fraccionamiento Habitacional:        |                                 |
| Plano: Centro de Carga Caso "C". Apendice III. |                                 |
| ESCALA   | Fecha: 5/Nov./2013              |
| <b>1:14.78</b>                                 | Realizó: Enoch Santiago Rivero. |

# Sección "A"

## Estacionamiento



Proyecto: Fraccionamiento Habitacional:

Plano: Circuito sección "A" Caso "A". Apéndice IV.

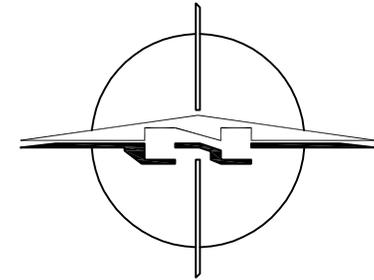
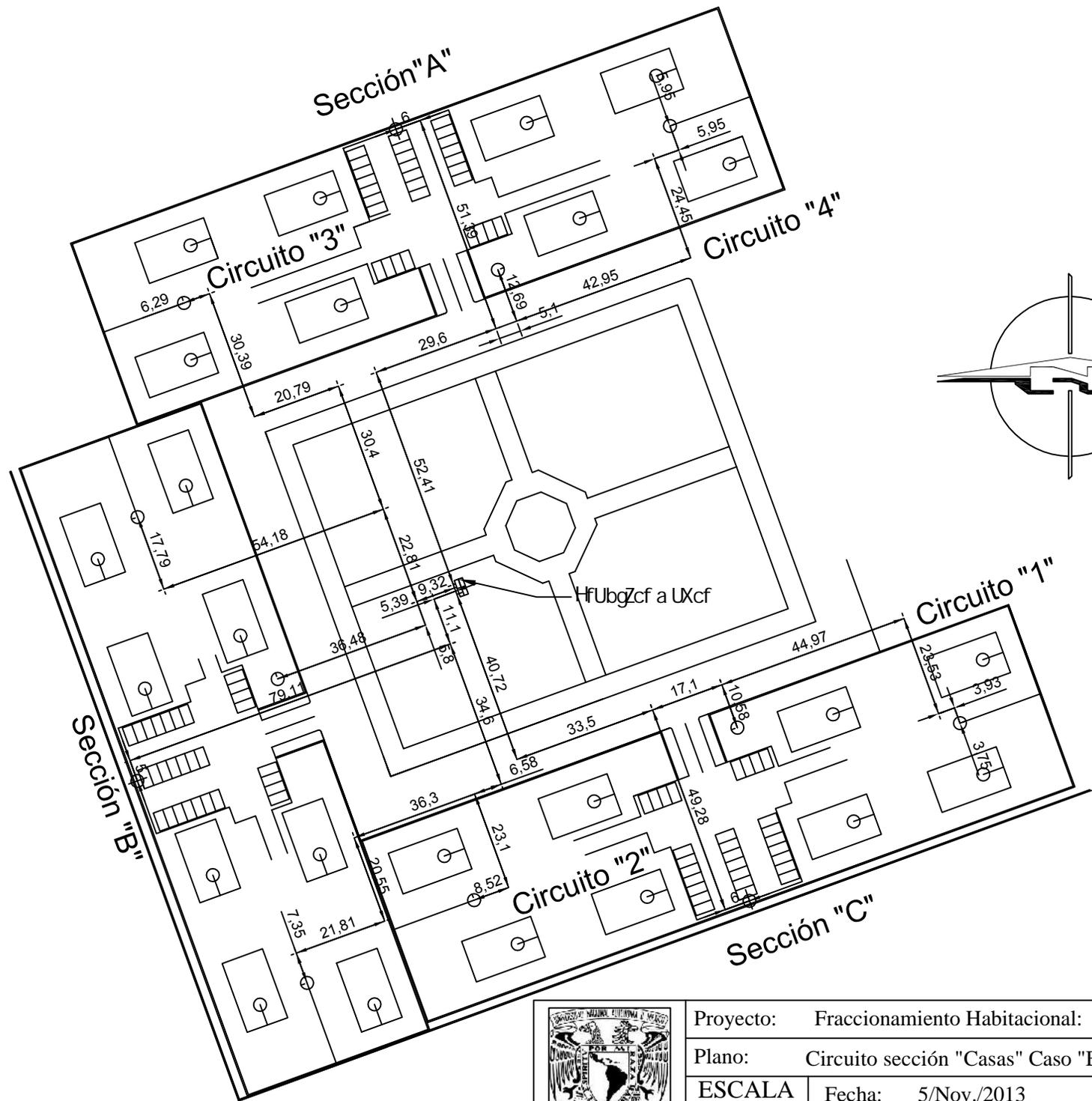
ESCALA Fecha: 5/Nov./2013

**1:6.53**

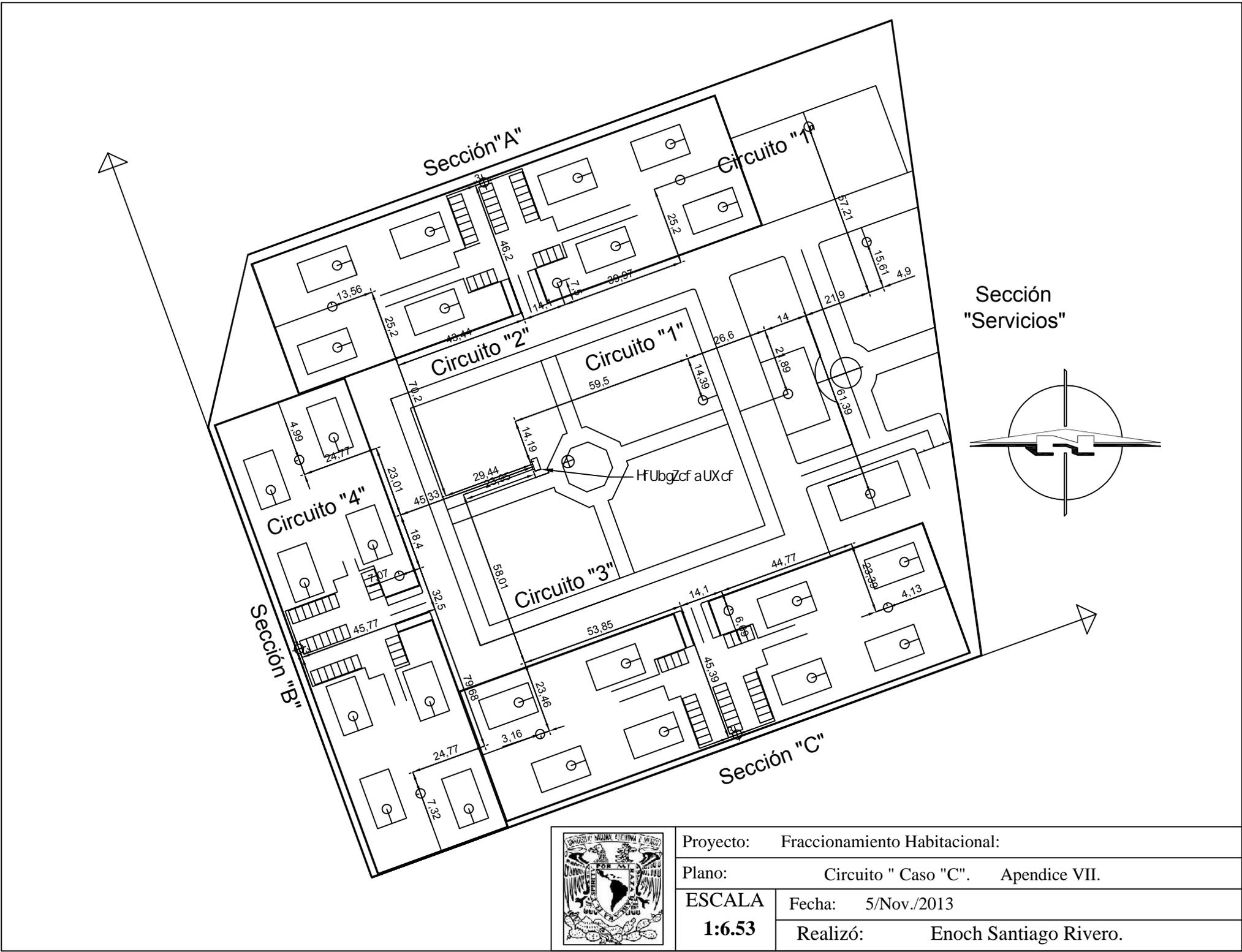
Realizó: Enoch Santiago Rivero.



|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| Proyecto: Fraccionamiento Habitacional:                   |                                 |
| Plano: Circuito sección "Servicios" Caso "A". Apendice V. |                                 |
| ESCALA  | Fecha: 5/Nov./2013              |
| <b>1:6.53</b>   | Realizó: Enoch Santiago Rivero. |



|  |                                 |
|--|---------------------------------|
| Proyecto: Fraccionamiento Habitacional:                |                                 |
| Plano: Circuito sección "Casas" Caso "B". Apendice VI. |                                 |
| ESCALA   | Fecha: 5/Nov./2013              |
| <b>1:6.53</b>  | Realizó: Enoch Santiago Rivero. |



|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| Proyecto: Fraccionamiento Habitacional:   |                                 |
| Plano: Circuito " Caso "C". Apendice VII. |                                 |
| ESCALA                                    | Fecha: 5/Nov./2013              |
| <b>1:6.53</b>                             | Realizó: Enoch Santiago Rivero. |

## Anexo 1

Características del conductor usado.



### DESCRIPCIÓN GENERAL

Cable formado por un conductor de cobre suave, con aislamiento de polietileno de cadena cruzada (XLPE).

### ESPECIFICACIONES

- OM-001-SEDE Instalaciones eléctricas (utilización).
- NOM-063-SCFI Productos eléctricos-conductores - requisitos de seguridad.
- NMX-J-451-ANCE Cables de energía de baja tensión con aislamiento de polietileno de cadena cruzada o a base de etileno propileno, para instalaciones hasta 600 V.
- Nota: Para productos con aprobación UL 44, consulte a nuestro Departamento de Ingeniería.

### CERTIFICACIONES



### PRINCIPALES APLICACIONES

- Los cables RHH/RHW-2 son productos de uso general. Por su mayor espesor pueden instalarse directamente enterrados.
- En sistemas de distribución de baja tensión instalado en tubo conduit, de iluminación, en edificios públicos e instalaciones industriales y en centros recreativos y comerciales.
- Por cumplir las pruebas correspondientes, portan las marcas SR y CT según requisitos de la NOM-001-SEDE.

### CARACTERÍSTICAS

- Tensión máxima de operación: 600 V.
- Temperaturas máximas de operación en el conductor:
  - 90°C En ambiente seco, húmedo o mojado.
  - 130°C En emergencia.
  - 250°C En corto circuito.
- Nota: La condición de emergencia se limita a 1 500 h acumulativas durante la vida del cable y no más de 100 h en periodos de doce meses consecutivos. Las condiciones de corto circuito en el conductor

600  
90°C

- se basan en lo indicado por la norma ICEA P-32-382.

## VENTAJAS

- Apropriados para instalarse en lugares mojados, húmedos, o secos.
- Ofrecen excelentes características eléctricas, físicas y mecánicas.
- Su mayor espesor de aislamiento permite instalarlo directamente enterrado.
- Su aislamiento termofijo ofrece mayor estabilidad térmica.
- Resistente a la luz solar.
- Cumplen la prueba de resistencia a la propagación de la flama en conductores eléctricos colocados en charola vertical (NMX-J-498), y la prueba de resistencia a la intemperie del aislamiento o la cubierta de conductores eléctricos (NMX-J-553).
- Nota: Este producto es equivalente al tipo USE de UL, para mayor información consulte a nuestro departamento de ventas e ingeniería.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- Se fabrican en los siguientes calibres y clasificaciones:
- Se fabrican en calibres de 2,082 a 506,7 mm<sup>2</sup> (14 AWG a 1 000 kcmil).
- Aislamiento color negro que lo hace resistente a la luz solar.
- Para cables con aislamiento de color diferente al negro consultar a nuestro departamento de ventas.
- La marca SR aplica en todos los calibres, solamente en color negro.
- La marca CT aplica a calibres 4 AWG y mayores, en todos los colores.

| CABLE VIAKON® RHH/RHW-2, XLPE 600 V, 90° C |             |  |                 |                                 |                              |                       |  |      |      |
|--|-------------|--|-----------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------------|--|------|------|
| Núm de artículo                            | Designación | Área nominal de la sección transversal | Número de hilos | Espesor nominal del aislamiento | Diámetro exterior aproximado | Peso total aproximado | Capacidad de conducción de corriente* Ampere |      |      |
|  |             |  |                 |                                 |                              |                       | 60°C   | 75°C | 90°C |
|  | AWG/kcmil   | mm <sup>2</sup>                        |                 | mm                              | mm                           | kg/100                |  |      |      |
| P227                                       | 14          | 2,082                                  | 7               | 1,14                            | 4,3                          | 4                     | 15   | 20   | 25   |
| Z063                                       | 12          | 3,307                                  | 7               | 1,14                            | 4,8                          | 5                     | 20   | 25   | 30   |
| Z065                                       | 10          | 5,260                                  | 7               | 1,14                            | 5,4                          | 7                     | 30   | 35   | 40   |
| Z068                                       | 8           | 8,367                                  | 7               | 1,52                            | 7,0                          | 11                    | 40   | 50   | 55   |
| Z069                                       | 6           | 13,30                                  | 7               | 1,52                            | 8,0                          | 16                    | 55   | 65   | 75   |
| Z070                                       | 4           | 21,15                                  | 7               | 1,52                            | 9,2                          | 24                    | 70   | 85   | 95   |
| Z071                                       | 2           | 33,62                                  | 7               | 1,52                            | 10,8                         | 36                    | 95   | 115  | 130  |
| P226                                       | 1           | 42,41                                  | 19              | 2,03                            | 13,0                         | 46                    | 110  | 130  | 145  |
| Z072                                       | 1/0         | 53,48                                  | 19              | 2,03                            | 14,1                         | 57                    | 125  | 150  | 170  |
| Z073                                       | 2/0         | 67,43                                  | 19              | 2,03                            | 15,3                         | 71                    | 145  | 175  | 195  |
| P225                                       | 3/0         | 85,01                                  | 19              | 2,03                            | 16,6                         | 87                    | 165  | 200  | 225  |
| Z074                                       | 4/0         | 107,2                                  | 19              | 2,03                            | 18,1                         | 108                   | 195  | 230  | 260  |
| Z075                                       | 250         | 126,7                                  | 37              | 2,41                            | 20,1                         | 129                   | 215  | 255  | 290  |
| P224                                       | 300         | 152,0                                  | 37              | 2,41                            | 21,5                         | 153                   | 240  | 285  | 320  |
| BU15                                       | 350         | 177,3                                  | 37              | 2,41                            | 22,8                         | 177                   | 260  | 310  | 350  |
| P218                                       | 400         | 202,7                                  | 37              | 2,41                            | 24,0                         | 201                   | 280  | 350  | 380  |
| Z059                                       | 500         | 253,4                                  | 37              | 2,41                            | 26,2                         | 249                   | 320  | 380  | 430  |
| CP68                                       | 600         | 304,0                                  | 61              | 2,79                            | 29,1                         | 300                   | 355  | 420  | 475  |
| Z060                                       | 750         | 380,0                                  | 61              | 2,79                            | 31,8                         | 372                   | 400  | 475  | 535  |
| CP69                                       | 1 000       | 506,7                                  | 61              | 2,79                            | 36,7                         | 491                   | 455  | 545  | 615  |

\* Basada en la tabla 310-15 (b)(16) de la NOM-001-SEDE para una temperatura ambiente de 30°C.

NOTA: Las dimensiones y pesos están sujetos a tolerancias de manufactura.

## Anexo 2

Resistencia Eléctrica CA, Reactancia Inductiva e Impedancia para cables de 600 V

| <b>RESISTENCIA ELECTRICA CA, REACTANCIA INDUCTIVA<br/>E IMPEDANCIA PARA CABLES DE 600 V, OPERANDO A<br/>75° C EN UN SISTEMA TRIFASICO A 60 HZ: 3 CABLES<br/>UNIPOLARES EN UN MISMO DUCTO (CONTINUACIÓN)</b> |  |                     |                  |
|---|--|---------------------|------------------|
| Tamaño o<br>Designación AWG<br>/ kcmil  | Ω/km, al neutro  |                     |                  |
|   | "Impedancia Z de conductores de Cobre<br>Factor de potencia = 0.9" |                     |                  |
|   | Ducto de PVC   | Conduit de aluminio | Conduit de acero |
| 14  | 9,2  | 9,2                 | 9,3              |
| 12  | 6,0  | 6,0                 | 6,0              |
| 10  | 3,6  | 3,6                 | 3,6              |
| 8   | 2,4  | 2,4                 | 2,4              |
| 6   | 1,5  | 1,5                 | 1,5              |
| 4   | 0,98   | 0,98                | 1,0              |
| 3   | 0,81   | 0,81                | 0,82             |
| 2   | 0,63   | 0,65                | 0,67             |
| 1   | 0,51   | 0,54                | 0,55             |
| 1/0   | 0,42   | 0,45                | 0,43             |
| 2/0   | 0,36   | 0,36                | 0,37             |
| 3/0   | 0,29   | 0,30                | 0,31             |
| 4/0   | 0,24   | 0,26                | 0,26             |
| 250   | 0,21   | 0,23                | 0,23             |
| 300   | 0,19   | 0,20                | 0,21             |
| 350   | 0,17   | 0,18                | 0,19             |
| 400   | 0,15   | 0,17                | 0,17             |
| 500   | 0,14   | 0,15                | 0,15             |
| 600   | 0,12   | 0,14                | 0,14             |
| 750   | 0,11   | 0,13                | 0,13             |
| 1000  | 0,097  | 0,11                | 0,12             |