



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Reingeniería básica y de
detalle de la instalación
eléctrica de alumbrado de un
edificio público**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico Electricista

Área Eléctrica Electrónica

P R E S E N T A

Maclovio Melquiades Flores

ASESOR DE INFORME

Ing. Alejandro Sosa Fuentes



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022

INDICE	pág.
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVO	3
CAPÍTULO 1. Contexto y Ámbito de la Actividad Profesional	3
CAPÍTULO 2. Marco teórico	4
2.1. Distorsión armónica	4
2.2. Naturaleza de la Luz y el Color	21
2.3. Motores y arrancadores	35
2.4. Cálculo del calibre de conductores eléctricos en baja tensión, por corriente y por caída de tensión, en sistemas eléctricos aplicables a las instalaciones en general	59
CAPÍTULO 3. Reingeniería de la Instalación Eléctrica	68
3.1. Diagramas Unifilares	69
3.2. Sistema de Alumbrado Modular y pasillos	75
3.3. Sistema de Contactos Normales	88
3.4. Sistema de Contactos Regulados	90
3.5. Cuadros de Carga y Balanceo de Tableros	92
3.6. Sistema de Tierras	101
CAPÍTULO 4. Selección de Materiales	139
CAPÍTULO 5. Participación Profesional	149
CAPÍTULO 6. Resultados y Aportaciones	158
Conclusiones	159
Bibliografía	163

INTRODUCCIÓN

Actualmente la energía eléctrica es indispensable para casi toda la actividad humana y cuyo consumo tiene una demanda creciente, pero, para hacerla llegar, desde la generación hasta nuestros hogares, universidades, hospitales, industria, avenidas principales, calles, etcétera, resulta cada vez más costoso, de ahí la necesidad de diseñar sistemas eficientes y ahorradores de energía. Para la generación de energía eléctrica se realizan grandes construcciones como; presas hidroeléctricas, nucleoeeléctricas, parques de energía eólica, así mismo, gracias a los avances tecnológicos hoy en día la energía eléctrica también se obtiene de la energía solar.

Dentro de las actividades dirigidas a la mejora de la eficiencia energética, la iluminación artificial ha tenido una atención especial en los últimos años, desarrollando lámparas de bajo consumo de energía, mayor luminancia, sistemas de control y amigables con el medio ambiente.

La luz nos rodea todos los días; es el paradigma de lo común (Un hombre común se maravilla ante lo excepcional y un hombre sabio, ante lo común- CONFUCIO) y esa familiaridad puede impedir que veamos la maravilla que la luz supone. La luz afecta nuestras pautas de sueño y la hora de trabajo, nuestra conciencia y nuestra salud. Sin embargo, las personas que construyen nuestro entorno a menudo pasan por alto el poder y la importancia de la luz.

Es de gran importancia una adecuada iluminación en los ámbitos: laboral, de investigación, descanso, de la salud, reunión, etc., es por ello que, desde los primeros años del siglo XX se han realizado estudios e investigaciones para conocer la adecuada iluminación que debe proporcionarse en cada caso, para satisfacer las exigencias de la tarea visual que se realiza.

La luz es lo que hace que el mundo sea visible y lo que nos permite entender nuestro entorno. Revela el color y la tridimensionalidad, exponen la textura de las superficies y los materiales. Estos elementos forman una parte muy importante del propio concepto de espacio que, sin una estudiada aplicación de la luz, el diseño de interiores nunca será ciertamente excelente. Pese a ello, muchas veces se subestima la importancia de la luz en la arquitectura. Sin luz, la arquitectura interior sencillamente no se puede experimentar en su totalidad: sería invisible.

La luz no solo influye en nuestra experiencia visual en la arquitectura, sino también en otros muchos aspectos. La luz tiene la capacidad de influir en el tono y en el ambiente de un espacio. Alterar los patrones de luz, forma y color pueden hacer que uno se sienta relajado o alerta; caliente y cómodo; frío y nervioso. La luz y el color se pueden utilizar para sentirse animado o apagado. Saber utilizar la luz nos permite acometer el diseño de interiores con las sensaciones y las emociones que queremos transmitir.

OBJETIVO

Llevar a cabo la reingeniería del sistema eléctrico de fuerza, alumbrado y contactos de corriente normal y regulados en baja tensión del edificio que alberga las oficinas de un edificio público gubernamental de acuerdo a las exigencias de las Normas Oficiales Mexicanas NOM 001 SEDE 2012 “Instalaciones eléctricas (utilización)”, NOM 007 ENER 2014 “Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales”, NOM-030-ENER-2016 “Eficiencia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general, límites y métodos de prueba” e **IEEE 80 2000** mediante la selección de lámparas, luminarios, tubería, conductores, protecciones, y tableros adecuados para el óptimo funcionamiento de la nueva instalación eléctrica, entendiendo esto como confiable, eficiente y que brinde seguridad a los usuarios. Lo propuesto debe satisfacer los requisitos reglamentarios vigentes en nuestro país relacionados con la seguridad, confiabilidad, facilidad para su conservación y flexibilidad para su crecimiento.

A mayor precisión, el nuevo sistema eléctrico debía incluir el diseño del alumbrado al interior del mencionado inmueble, es decir en las oficinas del personal ejecutivo, módulos de trabajo del personal administrativo, pasillos, andadores de los 5 pisos (P.B., 1er, 2do, 3er y 4to), el cual debe asegurar que proporcionará en el plano de trabajo la iluminación en cantidad suficiente y calidad necesaria, a fin de propiciar que las tareas del personal administrativo se realicen con seguridad y comodidad, a un costo razonable.

Así mismo, deberá elaborarse el diseño de un nuevo sistema de tierras que brinde protección adecuada contra fallas eléctricas al personal y a los equipos, para lo cual se requiere de un cálculo preciso de los elementos que integran dicho sistema a fin de que este ofrezca una baja resistividad a las corrientes de falla menor o igual a **5 Ohm**.

Lo anterior incluye la elaboración de los planos de los sistemas de alumbrado, de contactos normales y regulados, con sus respectivos cuadros de carga y diagramas unifilares, así como el diagrama unifilar general.

CAPÍTULO 1. Contexto y Ámbito de la Actividad Profesional

En el periodo de 1980 a 1984 tuve a mi cargo la Unidad de Mantenimiento Electromecánico de una de las hoy Alcaldías de la Ciudad de México, teniendo como responsabilidad el mantenimiento eléctrico, hidráulico y sanitario a los edificios públicos de la misma, tales como jardines de niños, casas hogar, escuelas primarias, secundarias, preparatorias, deportivos y mercados.

Por otra parte, en los años 1985 a 1991 laboré en una de las empresas más importantes en el país dedicadas al desarrollo de ingeniería y construcción, en la que mi actividad principal se centró en el desarrollo de proyectos eléctricos, destacando que participé en los proyectos de alumbrado y fuerza para algunas estaciones del sistema de transporte

metropolitano (metro) de la hoy Ciudad de México y los proyectos de alumbrado público para algunos desarrollos turísticos del país.

En el periodo de 1991 a 2015, laboré en una empresa paraestatal dedicada a la industrialización de leche de elevada calidad, mi cargo fue la de jefe del departamento de obras públicas, en la que preponderantemente mi función fue la adjudicación de contratos para la construcción y supervisión de obras, tendientes a mantener y conservar en condiciones óptimas de operación los inmuebles, instalaciones y equipos de las 10 plantas procesadoras de leche que integran la empresa paraestatal y distribuidas en todo el país de acuerdo a lo siguiente: tres en el Estado de México (Tlalnepantla, Tláhuac y Valle de Toluca) y otras siete en: Colima, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Querétaro, Tlaxcala y Veracruz.

Asimismo, la mencionada empresa paraestatal en apoyo a la comercialización de leche producida por pequeños y medianos ganaderos del país que carecían de infraestructura de acopio a través del departamento de obra pública a mi cargo, se construyeron 52 centros de acopio de leche, distribuidos en los estados de Aguascalientes, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Querétaro, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas. Desde el año de 2015 a la fecha, está bajo mi cargo el Control Patrimonial y Mantenimiento del inmueble que alberga las oficinas del edificio público objeto de este trabajo.

CAPÍTULO 2. Marco teórico

2.1. Distorsión Armónica

2.1.1 Introducción

En la República Mexicana, el sistema eléctrico de potencia está diseñado para generar y operar con una señal senoidal de tensión y de corriente a una frecuencia de **60 Hz (frecuencia fundamental)**, ésta sería la condición ideal, la realidad es que no todas las formas de onda son senoidales. Cuando una tensión senoidal es aplicada a un **circuito lineal** las corrientes que fluyen en el sistema y caídas de tensión también son senoidales.

En la actualidad, ha crecido la preocupación debido al hecho de que la forma de onda de corrientes y tensiones en alimentadores y buses de los sistemas eléctricos de potencia se han distorsionado por la aparición de **corrientes armónicas**, debido principalmente a que los usuarios han incorporado **cargas no lineales** de manera masiva como la **electrónica de potencia** en las redes industriales, así como a la operación, cada vez más extendida, de grandes **hornos de arco**, usados para fundición de acero, grandes instalaciones de **computadoras y equipo electrónico de control** que en condiciones normales de operación producen corrientes **NO senoidales** (debido a que la señal está compuesta por armónicas).

2.1.2 Definición de Distorsión armónica

El concepto **armónicas** proviene del **teorema de Fourier** y define que, bajo ciertas condiciones analíticas, una función **No senoidal** cualquiera y periódica con respecto al tiempo, puede considerarse integrada por una suma de funciones senoidales (o términos), incluyendo un término constante en caso de asimetría respecto al eje de las abscisas. La primera armónica es denominada también señal fundamental, es del mismo período y frecuencia que la función original y el resto de **armónicas** serán funciones senoidales cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la fundamental. Es decir, todas las componentes son denominadas **armónicas** de la función periódica original.

En redes eléctricas las **armónicas** son señales de tensión y/o corriente con una frecuencia que es un múltiplo entero de la fundamental, cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo; las armónicas se suman a la señal fundamental y la distorsionan, generando con ello lo que comúnmente se conoce como **distorsión armónica** (la distorsión armónica es una señal periódica no senoidal), como se ejemplifica en la Figura 2.1:

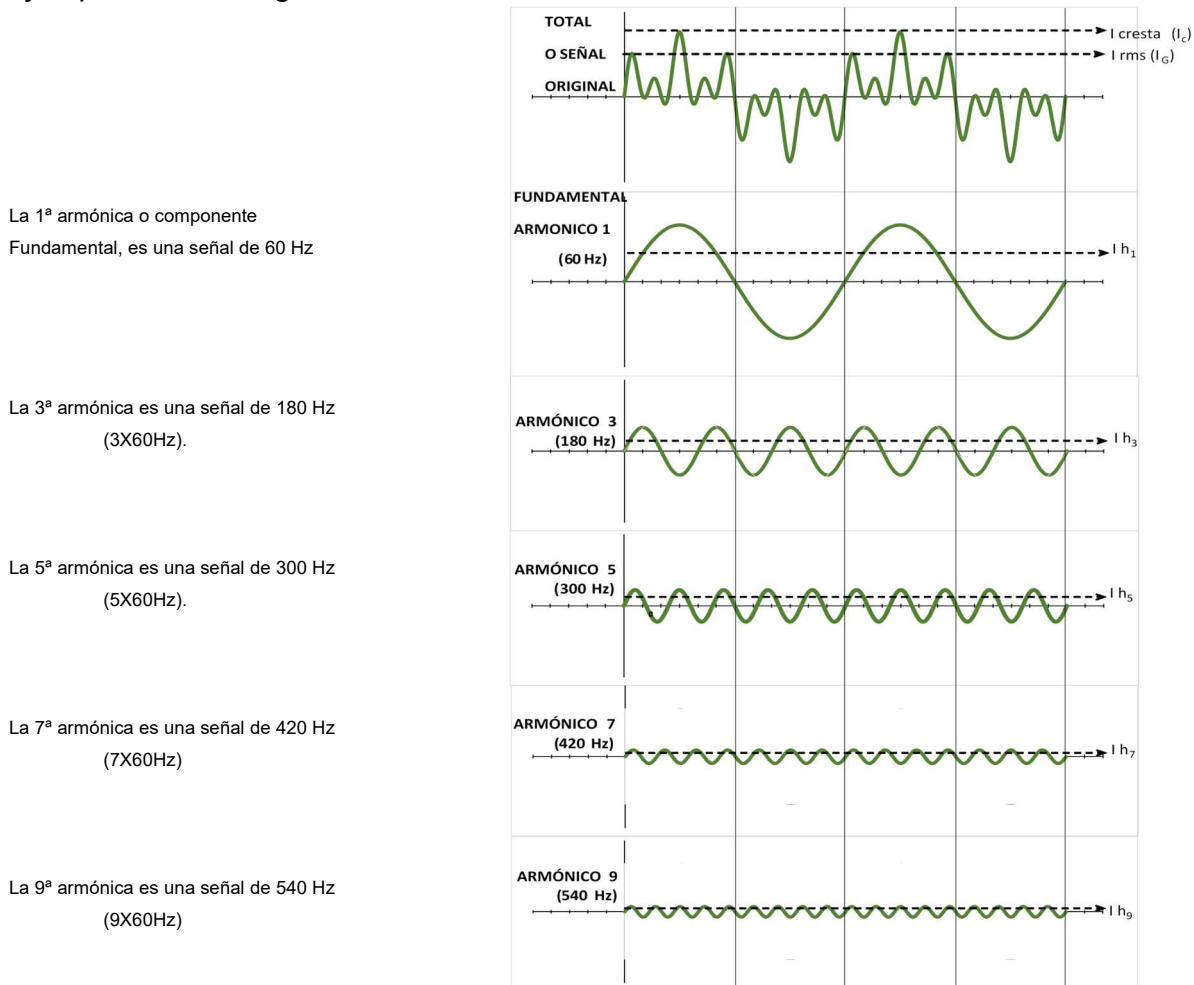


Figura 2.1. Señal de corriente distorsionada por armónicos y su descomposición en las componentes armónicas de rango 1 (o fundamental), 3, 5, 7 y 9

Es decir: La “n” armónica, es una señal de “n” veces la frecuencia fundamental (60 Hz)

La distorsión puede deberse a:

- **Fenómenos transitorios** tales como arranque de motores, conmutación de capacitores, efectos de tormentas o fallas por cortocircuito entre otras, ver figura 2.2.

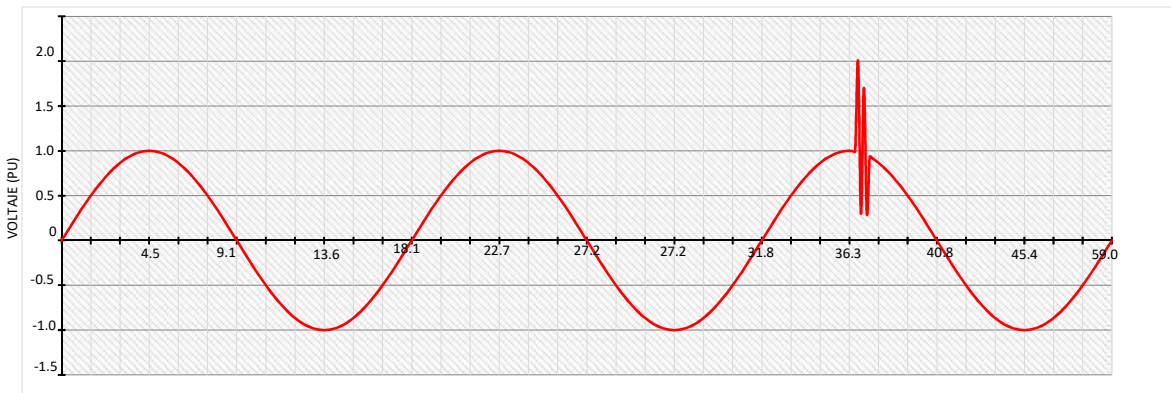


Figura 2.2. Efecto en la tensión por la conmutación de capacitores.

- **Condiciones permanentes** que están relacionadas con armónicas de estado estable. En los sistemas eléctricos es común encontrar que las señales tendrán una cierta distorsión que cuando es baja, no ocasiona problemas en la operación de equipos y dispositivos. Existen normas que establecen los límites permisibles de distorsión, dependiendo de la tensión de operación y de su influencia en el sistema.

Aun cuando pudieran parecer altos los niveles de distorsión **armónica** en algún punto de la instalación, no significa que necesariamente existirán problemas en los elementos del sistema eléctrico, pues como se menciona más adelante, las **armónicas** son una característica inherente de la operación de gran cantidad de equipos, algunos pueden tener cierta tolerancia a dichos niveles de **distorsión armónica** y ser capaces de operar correctamente y otros tantos fallarán o presentarán errores de operación, esto dependerá de las características de los equipos y de la fuente.

2.1.3. Características de la distorsión armónica

Cuando la onda de corriente o de tensión medida en cualquier punto de un sistema eléctrico se encuentra distorsionada, con relación a la onda sinusoidal que idealmente

deberíamos encontrar, se dice que se trata de una onda contaminada con componentes armónicas.

Para que las deformaciones en una señal se consideren como distorsión armónica, se deben de cumplir las siguientes condiciones:

- Que la señal tenga valores definidos dentro del intervalo, lo que implica que la energía contenida es finita.
- Que la señal sea periódica, con la misma forma de onda en cada ciclo de la señal de corriente o tensión.
- Permanente, que la distorsión armónica se presente en cualquier instante de tiempo, es decir, que no sea pasajera.

2.1.4. Tipos de cargas en sistemas eléctricos Industriales, comerciales y residenciales

En todo sistema eléctrico industrial, comercial o residencial existen dos **tipos de cargas**, **cargas lineales** y **cargas no lineales**; las **cargas no lineales** producen corrientes armónicas que se propagan en las redes de transmisión y distribución eléctrica, afectando los índices de calidad del suministro, ya que al fluir por el cableado y el transformador de distribución, producen la distorsión en tensión.

La cantidad de **armónicas en tensión** normalmente dependerá de la cantidad de **corrientes armónicas** producidas por la carga y de la **impedancia de la fuente**, la cual incluye conductores y transformadores.

La ley de Ohm dice que: la tensión es igual a la corriente multiplicada por la impedancia ($V=I*Z$). Si la impedancia de la fuente de suministro de energía es muy baja (como la de un sistema robusto o de gran potencia) entonces las **corrientes armónicas** producirán valores bajos de **armónicas en tensión**.

En cambio, si la impedancia de la fuente es alta, entonces las **corrientes armónicas** producirán valores altos de **armónicas en tensión**.

Las **ondas simétricas** contienen únicamente **armónicas impares**, mientras que para **ondas asimétricas** existirán tanto **armónicas pares** como **impares**. Las armónicas que hallamos más frecuentemente y por tanto las más problemáticas son las **armónicas impares**.

Así pues, los **armónicos** son provocados por las **cargas no lineales**, mismos que introducen distorsión a las ondas de **corriente** y de **tensión**, sin embargo las que más afectan a la red eléctrica y a los consumidores finales son las **armónicas de corriente** ya que éstas corrientes producen efectos negativos en la red eléctrica (por ejemplo; pueden ser peligrosas para algunos equipos y cargas sensibles como dispositivos de protección, bancos de condensadores, motores, computadoras, etc, además de

calentamiento en las líneas y transformadores de distribución), pudiendo afectar incluso a otros usuarios que únicamente posean cargas lineales.

Ante esta situación es indispensable aplicar medidas que conlleven a mantener los sistemas eléctricos con una calidad de energía adecuada y aprovechar las ventajas de la tecnología de los equipos electrónicos que ayudan a incrementar la productividad, confort y ahorro de energía.

a) CARGAS LINEALES

Una **CARGA LINEAL** es una carga eléctrica que, en estado normal de operación tiene una impedancia constante a lo largo del ciclo de la señal de tensión aplicada, por lo tanto, la corriente requerida por la carga varía en función de la tensión, como se muestra en la Figura 2.3.

Cuando se aplica una tensión senoidal directamente a cargas tales como resistencias, inductancias, capacitores o una combinación de ellos, se produce una corriente proporcional que también es senoidal, por lo que se les denominan **cargas lineales**, ver Figura 2.3.

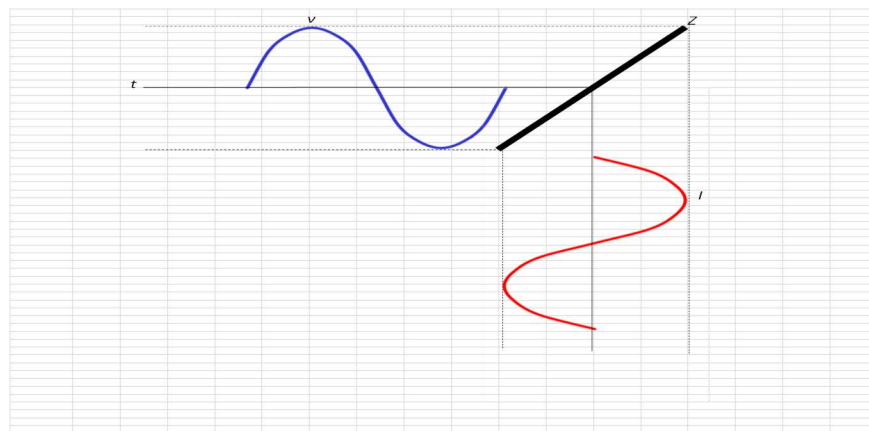


Figura 2.3. Representación de la impedancia (Z) de una “carga lineal”. REASA. (2017). Distorsión armónica. 03/2019, de GRUPO ENERTEM Sitio web: reasa.com.mx/index.php/2017/08/30/distorsión-armónica.

La señal de corriente i requerida por la carga varía en función de la tensión V y es una señal senoidal. Una vez conectada la carga, en la fuente existe una reducción del valor de tensión, esta reducción será mínima si la potencia de la carga es pequeña con respecto a la potencia o capacidad de generación de la fuente, a medida que la potencia de la carga se incremente provocará una mayor caída de tensión (en magnitud, no deformación).

Las **cargas lineales** más comunes son:

- Alumbrado incandescente.
- Hornos eléctricos de resistencias.
- Motores.
- Resistencias.

Estas cargas requieren de una corriente senoidal y **NO** distorsionan la señal senoidal de tensión.

b) CARGAS NO LINEALES.

Una **CARGA NO LINEAL** es una carga eléctrica que, en estado normal de operación tiene una impedancia que varía a lo largo del ciclo de la señal de tensión aplicada, por lo tanto, la corriente requerida por la carga no es continua, como se muestra en la Figura 2.4.

Una **carga** se considera **NO LINEAL** cuando la intensidad que circula por ella no tiene la misma forma sinusoidal que la tensión que la alimenta, es decir; la tensión aplicada no es proporcional a la corriente, resultando una señal distorsionada con respecto a la senoidal, ver Figura 2.4.

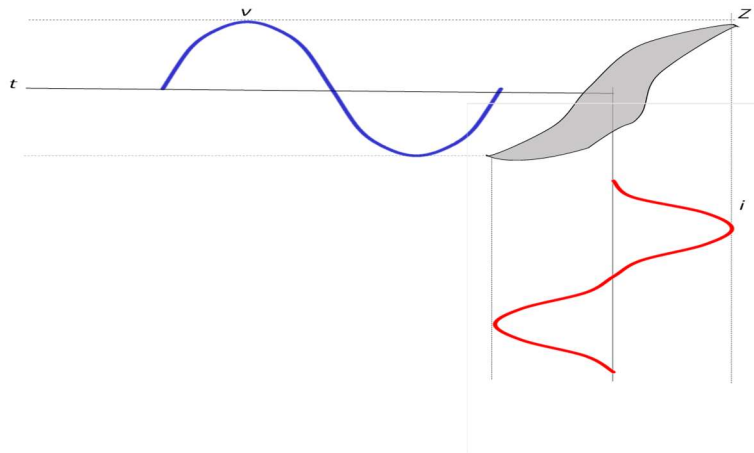


Fig. 2.4. Representación de la impedancia (Z) de una “carga no lineal”. REASA. (2017). Distorsión armónica. 03/2019, de GRUPO ENERTEM Sitio web: reasa.com.mx/index.php/2017/08/30/distorsión-armónica.

La señal de corriente requerida no es continua y no es senoidal, es una **señal distorsionada**. Una vez conectada la carga, en la fuente existe una reducción del valor de, esta reducción será mínima si la potencia de la carga es pequeña con respecto a la potencia o capacidad de generación de la fuente, a medida que la potencia de la carga

se incremente provocará una mayor caída de tensión y una mayor **distorsión armónica**. En un circuito real existen gran cantidad de dispositivos electrónicos y por lo tanto una mayor **distorsión armónica** en corriente y tensión.

Los equipos que contienen circuitos con electrónica de potencia son **cargas no lineales** típicas, este tipo de cargas son cada vez más frecuentes y su porcentaje en el consumo total de la instalación aumenta constantemente.

La norma IEEE 519-2014, relativa a Prácticas recomendadas y requerimientos para el control de armónicas en sistemas eléctricos de potencia agrupa a las fuentes emisoras de armónicas en tres categorías diferentes:

- Dispositivos electrónicos de potencia.
- Dispositivos productores de arcos eléctricos.
- Dispositivos ferromagnéticos.

Algunos de los equipos y procesos que se ubican en estas categorías son los indicados en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1.-Categorías de las fuentes emisoras de armónicas.

Residenciales (la gran mayoría trabaja con fuentes conmutadas)	Industriales	Comerciales
Televisores	Máquinas de soldar	Equipo de cómputo PC's
Pantallas	Hornos de arco	Fotocopiadoras
Refrigeradores	Hornos de inducción	Faxes
Lavadoras	Equipos de soldadura	Lámparas LED
Home theater	Inversores de frecuencia	Lámparas fluorescentes con balastro electrónico
Cargadores de celulares	Rectificadores	
Sistemas de CCTV	Controles electrónicos de velocidad para motores de CD, CA y asíncronos	
Computadoras personales	Fuentes ininterrumpidas UPS	
Videograbadoras	Computadoras	
Equipos de audio	Transformadores de núcleos saturados o sobreexcitados	
Hornos a microondas	Alumbrado Fluorescente y lámparas con balastos electrónicos	
Lámparas LED	En general, todos los equipos con dispositivos electrónicos	
Lámparas fluorescentes compactas con balastro electrónico	SAI's de cómputo	
Automatización en casas inteligentes	Accionar de equipos con núcleo magnético saturado	
	Convertidores estáticos (rectificadores, fuentes conmutadas)	
	Equipos de protección eléctrica	
	Equipo electrónico de control	

Estas cargas requieren de una corriente no senoidal y por lo tanto causan una distorsión periódica de la señal de corriente y tensión (distorsión armónica).

2.1.5. Perturbaciones en intensidad y tensión, generadas por cargas no lineales.

La alimentación a cargas no lineales provoca la inyección de flujos de **intensidades armónicas** en la Instalación en dirección de la fuente, mismas que al fluir a través de las impedancias de los circuitos de alimentación provocan los **armónicos en tensión**, ver Figura 2.5.

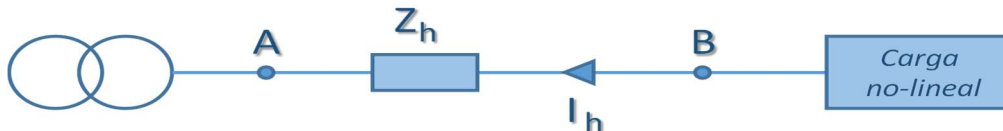


Figura 2.5 Esquema unifilar que muestra la impedancia del circuito de alimentación para el armónico de rango "h"

La impedancia de un conductor aumenta en función de la frecuencia de la intensidad que circula por él. Para cada armónico de rango **h**, existe por tanto, una impedancia Z_h del circuito de alimentación.

El armónico de rango **h** en intensidad genera vía la impedancia Z_h una tensión armónica V_h , donde por aplicación directa de la Ley de Ohm $V_h = Z_h \times I_h$. La tensión en **B**, por tanto, queda deformada y todos los equipos alimentados después del punto **B** recibirán esta tensión deformada.

La deformación aumenta en función del nivel de **impedancias** en el sistema de distribución, para una intensidad armónica dada.

2.1.6. Flujo de armónicos en una instalación eléctrica

En la Figura **2.6a** se muestra el flujo de la intensidad a 60 Hz (o frecuencia fundamental), mientras que en la **2.6b** se presenta el **armónico** de rango **h** en dirección de la fuente.



Figure 2.6a Esquema de una instalación alimentando una carga no lineal, mostrando únicamente la intensidad fundamental (60 Hz).

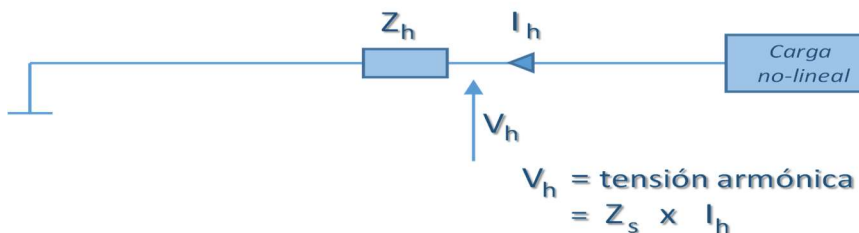


Figure 2.6b Esquema de la misma instalación, mostrando únicamente los fenómenos relacionados con el armónico de rango "h".

La alimentación de esta **carga no lineal** provoca el flujo de intensidad **I** a la frecuencia de **60 HZ** o fundamental (representado en la Figura 2.6a) al cual se le añade cada una de las intensidades armónicas de rango **h**, I_h (representado en la Figura 2.6b).

Considerando una vez más el modelo de las cargas que inyectan una **intensidad armónica** en la instalación en dirección de la fuente, es posible representar la circulación de las **intensidades armónicas** en una instalación (Figura 2.7).

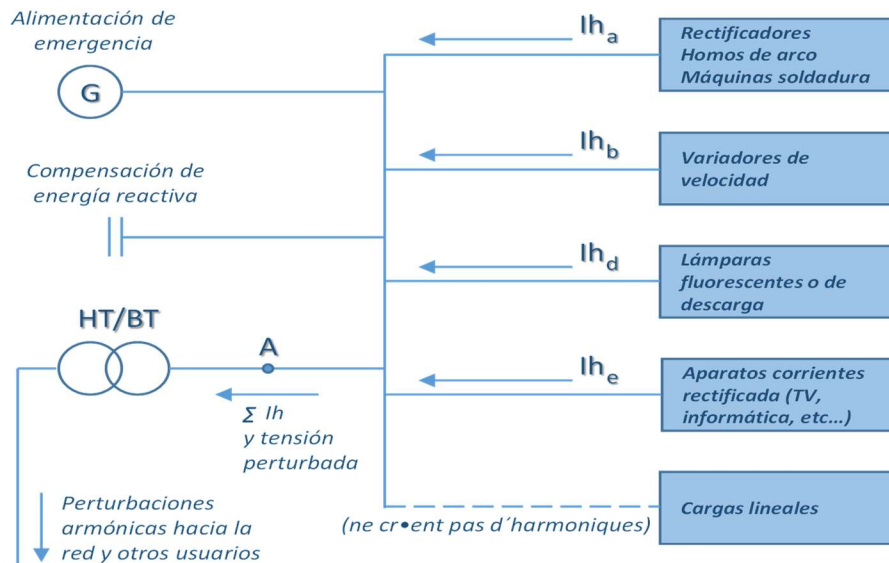


Figura 2.7 Flujo de las intensidades armónicas en una instalación.

En esta figura, podemos observar que ciertas cargas generan intensidades armónicas en la instalación y otras pueden absorber estas intensidades.

2.1.7 Niveles de Armónicas Permitidos por las Normas

2.1.7.1 Normalización

Para asegurar la integridad en el sistema de potencia global, es preciso establecer límites sobre los niveles de distorsión permisibles que apliquen tanto a los usuarios como a los suministradores de la energía.

Resulta especialmente delicada la relación usuario/compañía suministradora, ya que esta última tiene derecho a pedir al usuario que limite la contaminación al sistema de transmisión y distribución y el usuario tiene el derecho a pedir el suministro de una energía con la menor contaminación posible.

En México existe la especificación **CFE L0000-45** denominada "Desviaciones Permisibles en las Formas de Onda de Tensión y Corriente en el Suministro y Consumo de Energía Eléctrica" concerniente a la distorsión armónica permisible.

Esta normatividad está diseñada para limitar las corrientes armónicas de cada usuario en lo individual de forma que los niveles armónicos en tensión en la totalidad del sistema de potencia sean aceptables, siendo su cumplimiento una responsabilidad compartida entre suministrador y usuarios mantener un sistema eléctrico de buena calidad.

- **Suministrador.** Es responsable de mantener la calidad de la tensión en el sistema global, es su responsabilidad que en la acometida, la distorsión armónica total en tensión **THDV** que entrega a los usuarios se encuentre dentro de los límites establecidos para diferentes niveles de tensión, es decir, entregar una tensión de calidad. Por lo que el suministrador debe asegurarse que las condiciones en el sistema de generación, transmisión o distribución, no ocasionen niveles inaceptables de distorsión en tensión, aun si los usuarios se encuentran dentro de los límites de generación armónica en corriente.
- **Usuarios.** Deben ser responsables y asegurar que en la acometida, la generación de armónicas en corriente que inyectan al sistema eléctrico de potencia, se ubiquen dentro de los límites establecidos, tanto para componentes armónicas individuales como para la Distorsión de Demanda Total **THDI**, especificándose dichos límites como porcentaje de la demanda promedio de corriente del usuario en lugar de la corriente fundamental instantánea, con el fin de proporcionar una base común de evaluación a lo largo del tiempo.

2.1.7.2 Límites de distorsión armónica en tensión **THDV_n**

Es importante notar que la definición de la distorsión armónica total **THDV_n** que se utiliza es diferente a la convencional ya que se expresa la distorsión en función de la tensión nominal, que es un valor constante para cada usuario, estableciéndose así, una base fija de evaluación a lo largo del tiempo.

Utilizando el teorema de Fourier mediante el cual se demuestra que cualquier función periódica **NO** sinusoidal puede ser integrada como una suma de términos (serie) compuesta de: un término sinusoidal a la frecuencia fundamental y términos sinusoidales (**armónicos**) cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

$$THDV_n = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_n} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.1.1)$$

Donde:

THDV_n : Distorsión armónica total en tensión expresada en %

h : Orden de la armónica (a partir de la segunda componente 2^a, 3^a, 4^a, 5^a, etc...)

V_h :: Tensión eficaz de cada componente armónica o magnitud de la componente armónica individual.

V_n : Tensión eficaz de la componente fundamental (1ª armónica = 60 Hz) o tensión nominal fundamental del sistema.

TABLA 2.2.- Límites Máximos de Distorsión Armónica Total y de Componente Armónico Individual Máximo en Tensión en % del voltaje nominal, en el punto de Acometida. CFE L0000-45.

Nivel de tensión en la Acometida (V_n)	Distorsión armónica individual	Distorsión armónica total $THDV_n$
$V_n < 1$ kV	6.0%	8.0%
$1 \leq V_n \leq 35$ kV	5.0%	6.5%
$V_n > 35$ kV	2.0%	3.0%

Para lo anterior, los consumidores deben limitar el contenido armónico que generan en la corriente que demandan, según su impedancia relativa y su nivel de tensión de acuerdo a la [Tabla 2.3](#).

➤ **Utilidad del indicador de distorsión armónica total en tensión $THDV_n$**

La $THDV_n$ medida, proporciona información sobre fenómenos observados en una Instalación, de tal forma que:

Un valor de $THDV_n$ inferior al **5 %** se considera normal. Prácticamente no existe riesgo de mal funcionamiento en los equipos.

Un valor de $THDV_n$ comprendido entre el **5** y el **8 %** indica una distorsión armónica significativa. Se pueden dar funcionamientos anómalos en los equipos.

Un valor de $THDV_n$ superior al **8 %** revela una distorsión armónica importante. Los funcionamientos anómalos en los equipos son probables. Un análisis profundo y un sistema de atenuación se hacen necesarios.

2.1.7.3 Límites de distorsión armónica en corriente (THDI)

El $THDI$ se utiliza para definir el efecto de las armónicas en la señal de corriente del sistema eléctrico de potencia y es usado en baja, media y alta tensión.

Las corrientes armónicas para cada usuario son evaluadas en la acometida y los límites se establecen con base en la relación entre la corriente de cortocircuito y la demanda máxima de corriente de la carga del usuario.

Los sistemas más robustos pueden transmitir mayores niveles de corrientes armónicas sin producir una distorsión excesiva de tensión que los sistemas más débiles.

Tabla 2.3. Distorsión Armónica Máxima Permitida en Corriente para Baja, Media y Alta Tensión en la Acometida. CFE L0000-45.

Impedancia Relativa I_{cc}/I_L	Distorsión Armónica Total de Demanda $THDI$	Componente Armónico Individual Máximo de Corriente para Armónicas Impares				
		$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$
$V_n \leq 69 \text{ Kv}$						
$I_{cc}/I_L < 20$	5.0%	4.0%	2.0%	1.5%	0.6%	0.3%
$20 \leq I_{cc}/I_L < 50$	6.0%	7.0%	3.5%	2.5%	1.0%	0.5%
$50 \leq I_{cc}/I_L < 100$	12.0%	10.0%	4.5%	4.0%	1.5%	0.7%
$100 \leq I_{cc}/I_L < 1000$	15.0%	12.0%	5.5%	5.0%	2.0%	1.0%
$I_{cc}/I_L \geq 1000$	20.0%	15.0%	7.0%	6.0%	2.5%	1.4%
$69 \text{ kV} < V_n \leq 161 \text{ kV}$						
$I_{cc}/I_L < 20$	2.5%	2.0%	1.0%	0.75%	0.3%	0.15%
$20 \leq I_{cc}/I_L < 50$	4.0%	3.5%	1.75%	1.25%	0.5%	0.25%
$50 \leq I_{cc}/I_L < 100$	6.0%	5.0%	2.25%	2.0%	0.75%	0.35%
$100 \leq I_{cc}/I_L < 1000$	7.5%	6.0%	2.75%	2.5%	1.0%	0.5%
$I_{cc}/I_L \geq 1000$	10.0%	7.5%	3.5%	3.0%	1.25%	0.7%
$V_n > 161 \text{ kV}$						
$I_{cc}/I_L < 50$	2.5%	2.0%	1.0%	0.75%	0.3%	0.15%
$I_{cc}/I_L \geq 50$	3.75%	3.0%	1.5%	1.15%	0.45%	0.22%

- Para las armónicas pares, los límites se reducen al 25% de los correspondientes a armónicas impares
- Los límites deben ser utilizados como el caso más desfavorable de operación normal. Para arranque de hornos eléctricos de arco, que toman un tiempo máximo de un minuto, se permite exceder los límites de la tabla en 50%
- En ningún caso se permiten corrientes de carga con componentes de corriente directa.

La distorsión armónica total en corriente $THDI$ está definida como:

$$THDI = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.1.2)$$

Donde:

$THDI$: Distorsión armónica total en corriente expresada en porcentaje %

h : Orden de la armónica (a partir de la 2ª, 3ª, 4ª, 5ª, etc...)

I_h : Corriente eficaz de cada componente armónica o magnitud de la componente armónica individual.

I_1 : Corriente eficaz de la componente fundamental (1ª armónica = 60 Hz) o demanda máxima de la corriente fundamental de la carga.

- I_{cc} : Debe utilizarse aquella corriente que, bajo condiciones normales de operación, resulte en la mínima corriente de cortocircuito en la acometida, ya que este valor reduce la relación I_{cc} / I_L y la evaluación es más severa.
- I_L : Es la demanda máxima de la corriente fundamental en la acometida y puede calcularse como el promedio de las demandas máximas de corriente mensuales de los últimos 12 meses o puede estimarse para usuarios que inician su operación.
- Los límites son más estrictos para los usuarios que representan mayor carga al sistema, ya que la relación I_{cc} / I_L es menor.

➤ **Utilidad del indicador de distorsión armónica total en corriente *THDI***

Para identificar la carga que causa la distorsión, la ***THDI*** de corriente se debe medir a la entrada y en cada una de las salidas de los diferentes circuitos.

La ***THDI*** medida, proporciona información sobre fenómenos observados en una instalación, de tal forma que:

- Un valor de ***THDI*** inferior al **10 %** se considera normal. Prácticamente no existe riesgo de funcionamiento anómalo en los equipos.
- Un valor de ***THDI*** comprendido entre el **10** y el **50 %** revela una distorsión armónica significativa. Existe el riesgo de que aumente la temperatura, lo que implica el sobredimensionado de los cables y las fuentes.
- Un valor de ***THDI*** superior al **50 %** revela una distorsión armónica importante. El funcionamiento anómalo de los equipos es probable. Un análisis profundo y un sistema de atenuación son necesarios.

2.1.8 Punto de medición del nivel de armónicas

Los límites establecidos en la norma **CFE L0000-45** deben aplicarse en la acometida, es decir en el punto donde el suministrador entrega la energía al usuario en cuestión y a partir de ahí puede alimentar a otro usuario, ver Figura 2.8.

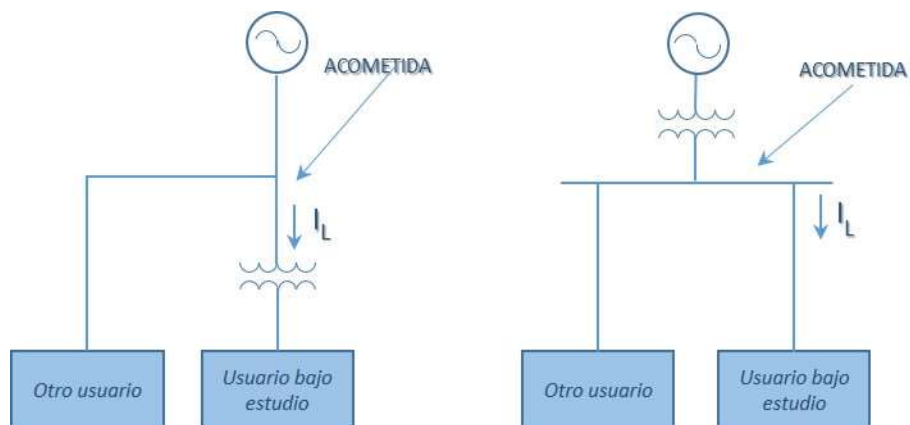


Figura 2.8 Punto de medición del nivel de armónicas.

La interacción de diversas cargas puede producir cancelaciones de armónicas que arrojen valores dentro de los límites en la acometida.

2.1.9 Efectos de las Armónicas

Las **corrientes armónicas** generadas por **cargas no lineales**, están desfasadas noventa grados con respecto a la tensión que las produce, fluyendo una potencia distorsionante de la fuente a la red eléctrica y viceversa, que solo es consumida como pérdidas por **efecto Joule** que se transforman en **calor**, de forma equivalente a la potencia reactiva fundamental relacionada al factor de potencia. Los problemas causados por la **distorsión armónica**, ocurren usualmente cuando la **carga no lineal** representa más del **20%** de la total y por la presencia de bancos de capacitores quienes presentan **condiciones de resonancia**.

2.1.9.1 Impacto en la vida de los equipos

Los fabricantes establecen los límites de funcionamiento de sus equipos por debajo de sus valores de falla para tener una operación adecuada y una vida prolongada, sin embargo, cuando existen **condiciones de resonancia**, dichos límites pueden ser excedidos, acelerando su envejecimiento o provocando su falla. La magnitud de los costos originados por la operación de sistemas y equipos eléctricos con tensiones y **corrientes distorsionadas**, puede percibirse considerando lo siguiente:

1. Aumento en las pérdidas energéticas por el efecto Joule (I^2R) inducido por las corrientes armónicas, así como envejecimiento prematuro de equipos y conductores cuando existe la sobre elevación de 10 °C en la temperatura del

aislamiento, con ello reduciendo su vida a la mitad. La misma consideración aplica al sobrecalentamiento por sobrecarga en conductores del neutro debido a la suma de los armónicos de rango 3 generados por las cargas monofásicas.

2. Sobrecalentamiento por sobrecarga y envejecimiento prematuro en motores, generadores, alternadores, vibraciones y zumbido en transformadores y en consecuencia falla de los mismos.

Para mantener el tiempo de vida que corresponde a una tensión de alimentación normal, los **aparatos deben ser sobredimensionados**.

2.1.9.2 Impacto económico por las perturbaciones

Los armónicos tienen un impacto económico importante:

- Las perturbaciones en **corriente** producen disparos intempestivos y el paro de los equipos de producción.
- Los interruptores de una instalación están sometidos a picos de corrientes causados por armónicos. Estos picos de corriente causan desconexiones intempestivas indeseadas que implican pérdidas por el paro de los equipos de producción, así como los costos correspondientes al tiempo requerido para volver a poner en marcha la instalación.
- Los costos por concepto de **materiales, pérdidas energéticas** y de **productividad** contribuyen a la pérdida de competitividad de las empresas.

2.1.9.3 Sobredimensionado de los equipos

- Debido a que las **frecuencias de los armónicos** son mayores que la de la fundamental, las impedancias que se encuentran para estas corrientes son mayores, por lo que para evitar excesivas pérdidas debidas al **efecto Joule**, es necesario sobredimensionar los conductores teniendo en cuenta la **circulación de las corrientes armónicas**.
- La circulación de **corrientes armónicas** en el **conductor neutro** implica su sobredimensionamiento.
- El envejecimiento prematuro de los equipos, lo que supone que deben reemplazarse con anterioridad al fin de su vida útil, a menos que se hayan sobredimensionado inicialmente.

2.1.9.4 Condiciones de resonancia

En un sistema con **cargas no lineales**, las **corrientes armónicas fluyen hacia la red** a través del transformador de distribución, ver Figura 2.9.

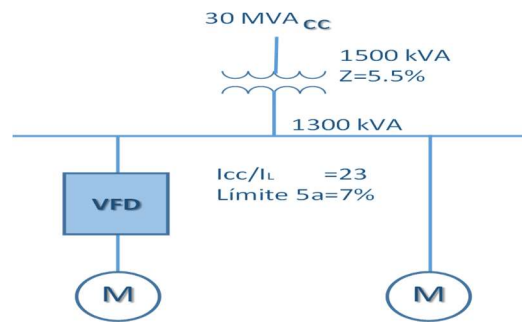


Figura 2.9 Diagrama unifilar de una planta industrial con “cargas lineales” y “no lineales”

Al no existir capacitores en la red, el espectro de corriente se distribuye en los diferentes componentes de la misma, sin variar su composición relativa, aunque su magnitud dependerá de sus admitancias respectivas (inverso de la impedancia), sin que se magnifiquen las corrientes armónicas.

Los mayores problemas en las redes eléctricas relacionados con la **distorsión armónica**, se presentan al **instalar capacitores** para compensar el factor de potencia de desplazamiento, en presencia de **cargas no lineales significativas**. La utilización de dispositivos capacitivos en el sistema de distribución provoca el fenómeno de **resonancia**, teniendo como resultado valores extremadamente altos de impedancia, modificando la **corriente** y la **tensión** en el sistema de distribución.

Los **capacitores** al ser **cargas lineales** no generan armónicas, pero si **las magnifican**, produciéndose disparos frecuentes de sus interruptores o fallas en los mismos capacitores. Lo más frecuente es la **resonancia paralela** con la reactancia inductiva de la fuente, derivada de la instalación de bancos de capacitores en el lado de baja tensión del transformador de distribución, mismos que provocan **resonancias paralelas** en el rango de la 3ª y 16ª armónica. A fin de explicar el fenómeno de resonancia paralela, en la Figura 2.10 se muestra una instalación construida por:

- Un transformador que suministra potencia.
- **Cargas lineales.**
- **Cargas no-lineales** (generadoras de corrientes armónicas).
- **Condensadores de compensación del factor de potencia.**

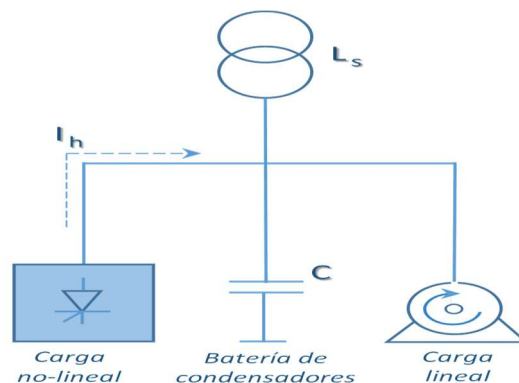


Figura 2.10 Instalación con transformador, carga lineal, carga no lineal y condensadores de compensación del factor de potencia.

Para propósitos de análisis armónico, el diagrama equivalente se muestra en la Figura 2.11, donde:

L_s: Inductancia suministrada (sistema de distribución + transformador + línea).

C: Capacitancia para corrección de factor de potencia.

R: Resistencia de las cargas lineales.

I_h: Corriente armónica.

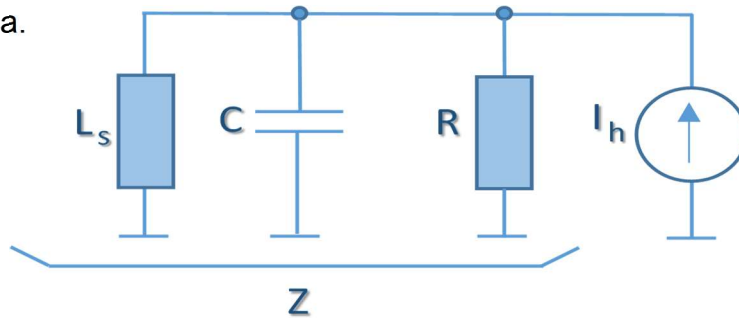


Figura 2.11 Diagrama equivalente.

Si se desprecia **R**

$$Z = \frac{j \omega L}{1 - \omega^2 L C}$$

La resonancia se produce cuando el denominador $1 - \omega^2 L C$ se aproxima a **cero**. La **frecuencia** correspondiente se denomina **frecuencia de resonancia** del circuito. A esta frecuencia, la impedancia tiene su valor máximo, teniendo como resultado un aumento considerable de la tensión de los armónicos y consecuentemente una mayor distorsión en la tensión. Esta **distorsión** en la **tensión** está acompañada por la circulación de **corrientes armónicas** en el circuito **L + C** que son **mayores que las corrientes armónicas inyectadas**.

2.1.9.5 Soluciones para atenuar los armónicos

Para limitar la propagación de los armónicos en la red, se deben tomar una serie de medidas, especialmente cuando se diseña una nueva instalación.

En los sistemas eléctricos donde el **contenido armónico** de las señales está afectando su desempeño, se instalan **filtros**, con el propósito de **reducir la distorsión**, aproximando dichas señales a la forma de **onda senoidal**.

Los **filtros** son equipos cuyo propósito es interactuar con una frecuencia específica o rango de frecuencias de una señal dada, teniendo el mayor impacto cuando se instalan lo más cercano posible a las cargas no lineales.

2.1.9.6 Efectos positivos asociados a la reducción de armónicas.

Con la reducción de armónicas se obtienen **beneficios** tales como:

- Elevación del factor de potencia.
- Reducción de consumo de potencia reactiva de las redes de C.F.E.
- Reducción de pérdidas producidas por efecto Joule (I^2R).
- Prolongar la vida del equipo electrónico.
- Reducción de sobrecalentamientos en el cableado.
- Reducción de pérdidas en transformadores.
- Incremento en la eficiencia y prolongación de la vida de motores.

2.2. Naturaleza de la Luz y el Color

¿Qué es la luz?

La luz es sin duda uno de los fenómenos que más dolores de cabeza ha generado a la comunidad científica, pese a los años de investigaciones, muy pocas cosas se entendieron sobre la **luz**, a parte de sus características observables. A finales del siglo XVII dio lugar a una de las mayores controversias de la historia, dos teorías aparentemente contradictorias tendientes a explicar la **naturaleza de la luz**; la teoría de partículas (corpúscular) y la teoría ondulatoria e más recientemente la teoría cuántica.

Teoría corpúscular de la Luz.

Sr. Isaac Newton (1704), mediante su teoría de la emisión supuso que la **luz** se propaga en línea recta en todas direcciones con enorme rapidez desde un cuerpo luminoso (el sol, una linterna o una llama) en forma de partículas diminutas (**corpúsculos**), que cuando estas entran al ojo se estimula el sentido de la vista. Uno de los más fuertes argumentos en favor de la teoría corpúscular se basó en la propagación rectilínea de la **luz**. De hecho, uno infiere las posiciones de los objetos en el ambiente al suponer que la **luz** se mueve desde el objeto hasta los ojos en trayectorias de líneas rectas. Esta suposición condujo al modelo de **rayos** de la **luz**, el cual supone que la luz viaja en trayectorias de líneas rectas llamadas **rayos de luz**. Cuando uno ve un objeto, de acuerdo con el modelo de rayos, la **luz** alcanza los ojos desde cada punto sobre el objeto. Aunque los rayos de **luz** abandonan cada punto en muchas direcciones diferentes, normalmente

sólo un pequeño cúmulo de esos rayos entran a la pupila del ojo de un observador, como se muestra en la Figura 2.12. Si la cabeza de la persona se mueve hacia un lado, desde cada punto entrará al ojo un cúmulo de rayos diferente.

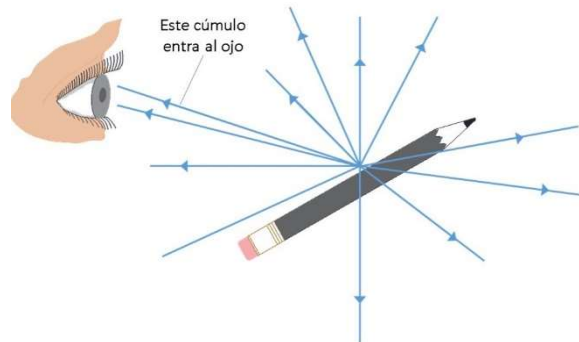


Figura 2.12 Los rayos de luz que provienen de cada punto individual de un objeto. Giancoli, (2006). Física, pág. 633.

La teoría corpuscular de la luz, explicaba que las fuentes emisoras de luz (sol, fuego o linterna) emiten partículas o corpúsculos en línea recta formando un rayo de luz, luego este se transmite, por ejemplo, desde el sol hasta la tierra a través del espacio, y en el planeta a través del aire, agua o vidrio.

Reflexión de la luz.

El modelo de rayos de luz (teoría corpuscular de la luz) resulta adecuado para describir muchas propiedades de la luz tales como la emisión, transmisión, **reflexión** y la **refracción**, ver Figura 2.13.

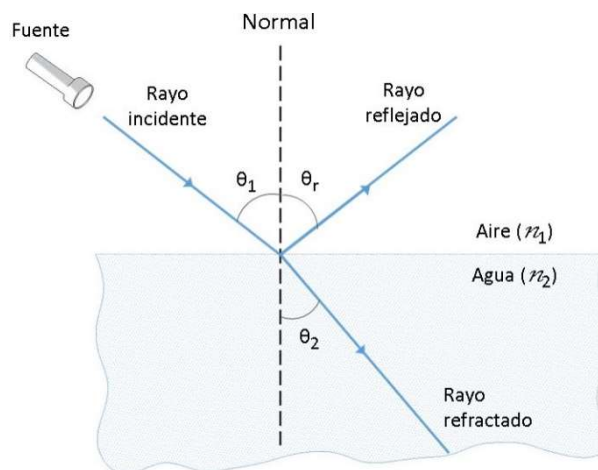


Figura 2.13 Reflexión y refracción de la luz. Giancoli, (2006). Física, pág. 643.

Cuando un estrecho haz de **luz** entra en contacto con una superficie plana, el choque es totalmente elástico, es decir; no se pierde nada de energía en el choque, manteniendo constante la velocidad de la **luz**. En la reflexión (o rebote) de la **luz** en superficies como el agua y espejos se define al ángulo de incidencia θ_1 , como el ángulo que un rayo incidente forma con la normal (perpendicular) a la superficie, y al ángulo de **reflexión** θ_r como el ángulo que el rayo reflejado forma con la normal. Se observa que los rayos incidente y reflejado se encuentran en el mismo plano con la normal a la superficie y que el ángulo de **reflexión** es igual al ángulo de **incidencia** ($\theta_1 = \theta_r$).

Refracción de la luz

Cuando la **luz** entra en contacto con la superficie de un objeto, parte de la **luz** se **refleja**. El resto puede ser absorbido por el objeto (y transformarse en energía térmica) o, si el objeto es transparente como el vidrio o el agua, parte de la **luz** penetra en éste y se puede transferir a través de él. La **luz** se propaga en línea recta a rapidez constante en un medio uniforme. Si cambia el medio, la rapidez también cambiará y la **luz** viajará en línea recta a lo largo de una nueva trayectoria. La desviación o cambio de dirección (o doblado) de un rayo de **luz** cuando pasa oblicuamente de un medio a otro se conoce como **refracción**.

El ángulo θ_2 que se forma entre el haz **refractado** y la normal se le llama ángulo de refracción. La velocidad de la luz dentro de una sustancia material (o de mayor densidad que el aire) es generalmente menor que la velocidad en el espacio libre. La razón de la velocidad de luz c en el vacío entre la velocidad v de la luz en un medio particular se llama índice de refracción n para ese material. El índice de refracción es una cantidad adimensional y generalmente es mayor que la unidad.

$$n = \frac{c}{v} \dots\dots\dots(2.2.1)$$

Con la teoría corpuscular se explicaban de manera simple la **reflexión** y la **refracción** de la **luz**, no así el fenómeno de **difracción**.

Teoría ondulatoria de la Luz.

Difracción de la luz

En cambio, el matemático y científico Holandés **Cristian Huygens (1629-1695)** predijo que la **luz** era un fenómeno ondulatorio y que las ondas pueden flexionarse o doblarse al alrededor de los bordes de un obstáculo, como se muestra en la Figura 2.14 conocido este fenómeno como **difracción de la luz**.

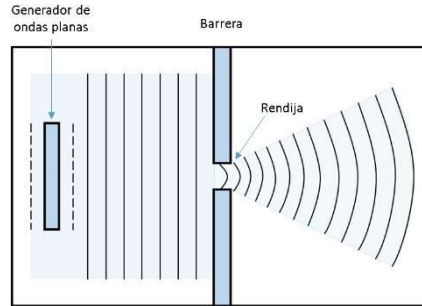


Figura 2.14 Difracción de ondas planas en agua al pasar por una rendija estrecha. E. Tippens. (1973). Física, Conceptos y Aplicaciones, pág. 715.

Sin embargo, primer debemos responder a la pregunta más básica de todas, ¿Qué es una onda?, pues en física se define que una onda es una perturbación de una propiedad del espacio que se propaga a través del mismo, implicando una transferencia de energía, pero no de materia.

Interferencia de la luz.

El inglés **Thomas Young** (1773-1829) mediante el fenómeno de **interferencia** de la **luz** obtuvo evidencia convincente para la naturaleza ondulatoria de la **luz**. La Figura 2.15 muestra un diagrama esquemático del famoso experimento de doble rendija de **Young**. La **luz** proveniente de una sola fuente (Young utilizó al sol) cae sobre una pantalla que contiene dos rendijas cercanamente espaciadas S_1 y S_2 . Si la **luz** consiste en pequeñas partículas, se esperaría ver sólo dos líneas brillantes sobre una pantalla colocada detrás de las rendijas como en **b)**. Pero, en lugar de ello, se obtuvo una sucesión de zonas iluminadas (zonas brillantes o claras) y zonas oscuras, como en **c)**.

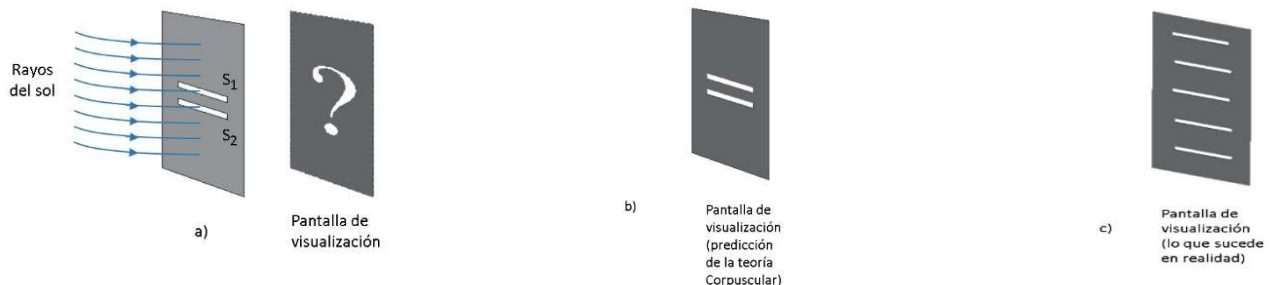


Figura 2.15 Interferencia de la luz, experimento de la doble rendija de Young. Giancoli, (2006). Física, pág. 668.

Para esto, hay que imaginar ondas planas de **luz** de una sola longitud de onda (llamadas monocromáticas, es decir de un solo color) que caen sobre dos rendijas, como se muestra en la Figura 2.16. A causa de la difracción, las ondas que salen de las dos pequeñas rendijas se disparan hacia afuera como se indica.

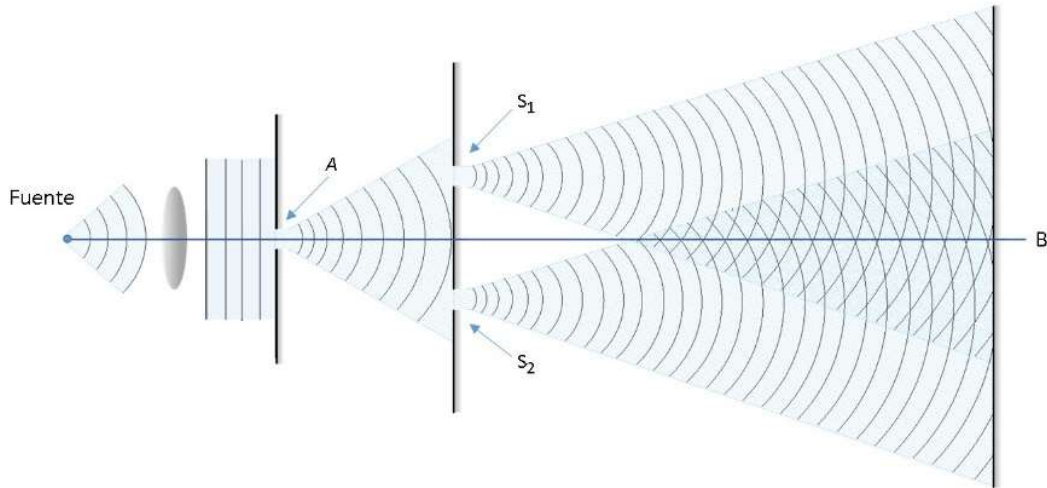


Figura 2.16 Interferencia de la luz, experimento de doble rendija de Young. E. Tippens. (1973). Física, Conceptos y Aplicaciones, pág. 715.

Para entender la iluminación de la pantalla en líneas claras y oscuras alternadas, Young recurre al principio de la superposición de la interferencia ondulatoria. El cual refiere que cuando dos ondas existen simultáneamente en un mismo medio, la amplitud resultante en cualquier punto es la suma de las amplitudes de las ondas compuestas en dicho punto, de tal forma que dos ondas interfieren constructivamente cuando la amplitud de la onda resultante es mayor que las amplitudes de cualquiera de las ondas componentes (bandas claras), en cambio si la amplitud resultante es menor, se dice que se produjo una interferencia destructiva (bandas oscuras), como se muestra en la Figura 2.17.

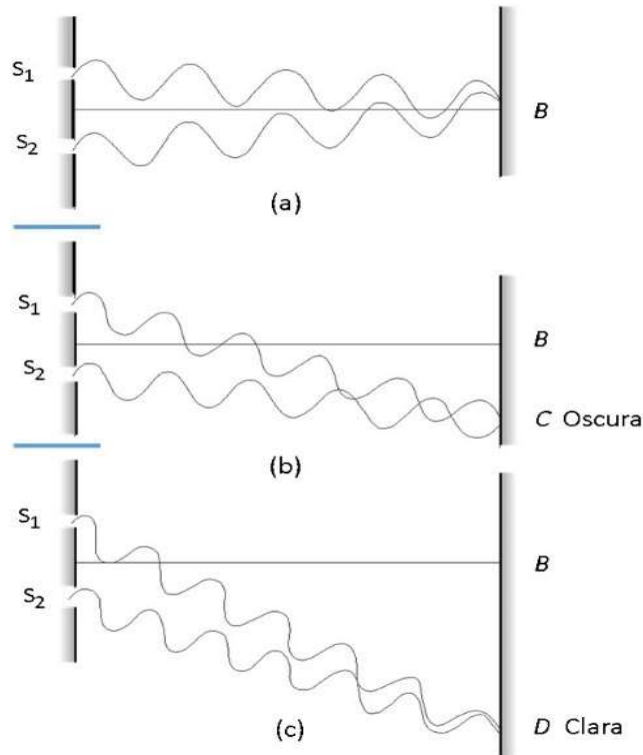


Figura 2.17 Origen de las bandas claras y oscuras en un patrón de interferencia. E. Tippens. (1973). Física, Conceptos y Aplicaciones, pág. 716.

Ya que el resultado de este experimento sólo se podía explicar en términos de la teoría ondulatoria, casi todos los científicos aceptaron que la **luz** tenía una **naturaleza ondulatoria**. Sin embargo, ya que todas las ondas conocidas se desplazaban usando un medio físico, faltaba por explicar la propagación de la luz a través del vacío, donde incluso viajaban más rápido que en el aire o el agua ¿si no había nada más que vibrara? Además ¿cómo podría la luz llegar a la tierra desde el sol o desde otras estrellas a través de millones de kilómetros de espacio vacío? Para evitar esta contradicción, los físicos postularon la existencia de un “**éter transportador de luz**”, cuya naturaleza no podía ser un gas, un sólido o un líquido que obedeciera las leyes físicas conocidas en ese tiempo.

En 1845, **Michael Faraday** descubrió que el ángulo de polarización de la luz se podía modificar aplicándoles un campo magnético, proponiendo que la **luz** era una vibración u onda electromagnética de alta frecuencia.

En 1865 el físico escocés **James Clerk Maxwell**, inspirado por el trabajo de Faraday, estudió matemáticamente estas ondas electromagnéticas y se dio cuenta que siempre se propagan de un lugar a otro en el espacio transportando energía, a una velocidad constante, que coincidía con la velocidad de la luz (300,000 km/s) y que no necesitaban medio de propagación, ya que se auto propagaban mediante campos eléctricos y magnéticos que son perpendiculares entre sí y oscilan en forma perpendicular a la dirección de la onda, como se muestra en la Figura 2.18.

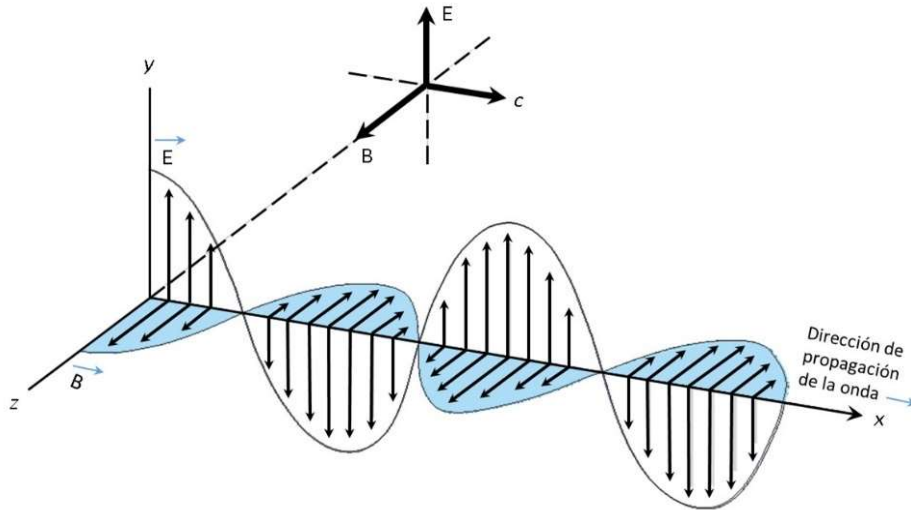


Figura 2.18 Propagación de la luz como campos transversales oscilatorios (eléctrico **E** y magnético **B**) y perpendiculares entre sí. E. Tippens. (1973). Física, Conceptos y Aplicaciones, pág. 715.

Maxwell genera la predicción que la **luz** es una onda electromagnética, con esto la naturaleza ondulatoria de la **luz** no podía ser puesta en duda.

En 1885 **H.R. Hertz** logró confirmar experimentalmente la teoría de Maxwell, al probar que la radiación de la energía electromagnética de cualquier longitud de onda viaja en el vacío a una velocidad de 300,000 km/s y puede ocurrir a cualquier frecuencia, como se muestra en la Figura 2.19 que representa el espectro de la radiación electromagnética.

Por otra parte, y dado que las ondas electromagnéticas como la **luz** pueden caracterizarse mediante las dos magnitudes características de toda onda; frecuencia (**f**) y la longitud de onda (**μ**), el producto de ambas es igual a la velocidad (**c**) de propagación de la luz.

$$c = f * \mu \dots\dots\dots(2.2.2)$$

Esta caracterización forma el espectro electromagnético (o energía en forma de radiación electromagnética), mismo que puede entenderse como una representación gráfica de las diferentes longitudes de onda y frecuencias de la radiación electromagnética. El cual incluye ondas de radio, microondas, infrarrojos, **luz visible**, luz ultravioleta, rayos x y rayos gamma. La diferencia entre todas ellas estriba en la longitud de onda (y por lo tanto, en el nivel de energía) de la radiación. De ahí que la **luz visible** sea una pequeña parte del espectro electromagnético.

¿Entonces que hace que la **luz visible** sea especial?, en realidad absolutamente nada, simplemente resulta que evolucionamos unos ojos que son buenos en registrar exactamente esta parte del espectro electromagnético.

La **luz visible** es único set de radiación electromagnética que se propaga en el agua y sucede que es donde la mayoría de los ojos evolucionaron hace millones de años,

precisando que la luz no solo interactúa con la materia, también es alterada por ella (reflejada, refractada). **La luz** puede ser utilizada para obtener información del mundo que nos rodea con casi ningún retraso, lo que resulta sin duda en una herramienta útil para la sobrevivencia.

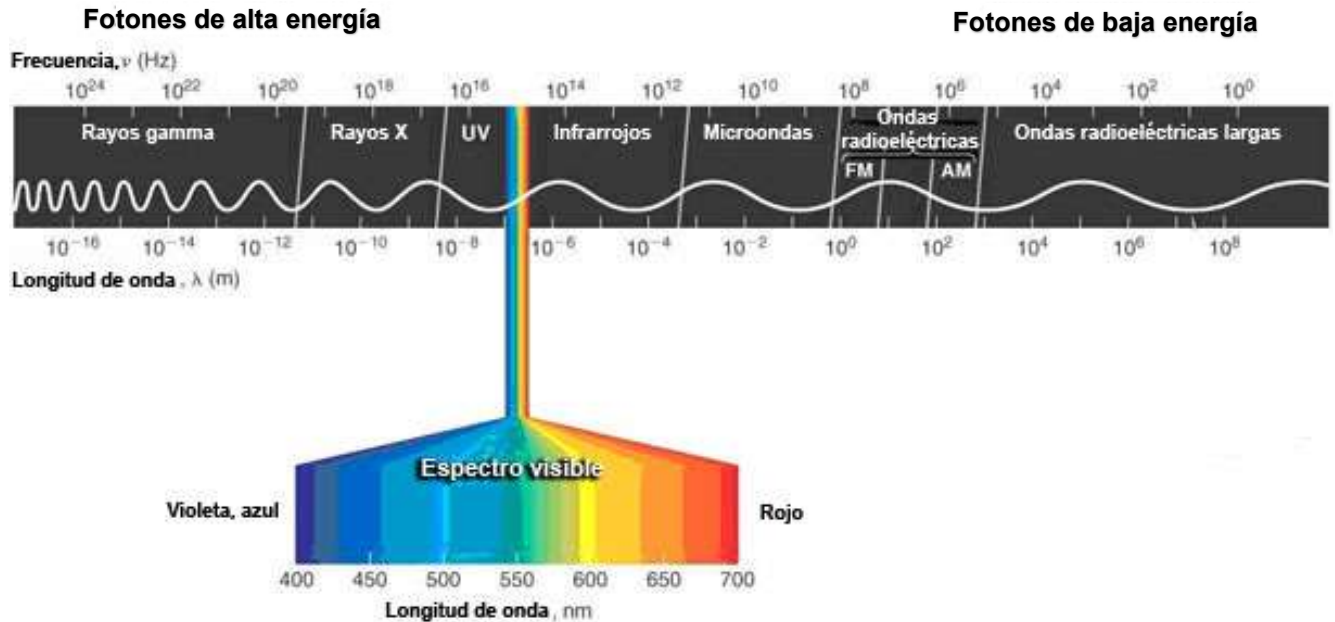


Figura 2.19. CRATES. (2008). Espectro de la radiación electromagnéticas. 01/2020, de WIKIPEDIA Sitio web: https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:EM_spectrum_es.svg

El sol es la principal fuente de radiación electromagnética en la tierra, que define el entorno donde hemos evolucionado como especie y nos hemos adaptado. El sol no es otra cosa que un gigantesco reactor termonuclear que convierte cada segundo 564 millones de toneladas de hidrógeno en 560 millones de toneladas de helio, lo que significa que 4 millones de toneladas de materia se transforman en energía que se transporta en forma de radiación electromagnética. Una pequeña parte de esa energía llega a la tierra, la cual permite que tengamos el sentido de la vista, sirve además para que las plantas verdes, mediante la fotosíntesis generen azúcares que liberan energía en los seres vivos que los digieren. Este proceso provee, virtualmente toda la energía de la vida.

Aunque la teoría electromagnética de la luz de **Maxwell** explica todos los fenómenos luminosos que tienen lugar entre la fuente y el detector (reflexión, refracción, difracción, interferencia y polarización), no logra poner en claro los procesos de **emisión** y **absorción** de la energía radiante (**luz**) por la materia, que son el fundamento de cómo se produce la **luz** y de cómo es detectada por el ojo humano.

Teoría cuántica de la luz.

Una cosa en la que todos estamos de acuerdo es que cualquier cuerpo cuando se calienta a temperaturas muy elevadas emite **luz**, la radiación emitida se conoce como radiación térmica, además cuanto mayor sea dicha temperatura mayor será la frecuencia de la **luz** que emite, por lo que se puede afirmar que el color de la **luz** emitida depende de la temperatura.

Sin embargo ¿por qué brillan los cuerpos a altas temperaturas?.- la respuesta está en que los cuerpos están formados por partículas cargadas como protones y electrones, las cuales si están a una temperatura superior a °K vibran y cualquier partícula cargada que vibre es una fuente de radiación electromagnética.

Este argumento aplica a los seres humanos, que al estar formados por materia y partículas a una temperatura ligeramente superior a los 310 °K también brillan, solo que al no estar a una temperatura suficientemente elevada no emiten luz visible, si no brillan emitiendo luz infrarroja.

En 1887, **Herz** observó que una chispa eléctrica podía saltar más fácilmente entre dos esferas cargadas cuando sus superficies estaban iluminadas por la **luz** que provenía de otra chispa, a este fenómeno se le llamó **efecto fotoeléctrico**.

El **efecto fotoeléctrico**, junto con otros experimentos que incluían la **emisión** y **absorción** de energía radiante, no podían explicarse únicamente mediante la teoría de las ondas electromagnéticas de **Maxwell**, ya que al pertenecer al mundo subatómico la física clásica resultaba inadecuada para la descripción de los procesos atómicos.

En 1901, el físico alemán **Max Planck**, en un esfuerzo por lograr observaciones experimentales que apoyaran la teoría electromagnética, publicó su hipótesis denominada **cuántica**. Encontró que los problemas con la teoría de la radiación electromagnética se basaban en la suposición errónea de que la energía radiaba en forma continua. Postuló que la energía electromagnética no se **emitía** y **absorbía** en forma continua si no en paquetes discretos de energía, llamados *cuantos*. El contenido de energía de estos *cuantos*, o *fotones*, como fueron llamados, es proporcional a la frecuencia de la radiación.

Es decir, que las partículas únicamente pueden vibrar a una energía proporcional a su frecuencia.

$$E = h * f \dots\dots\dots(2.2.3)$$

Donde:

E = energía del fotón

f = frecuencia del fotón

h = constante de Planck (6.626×10^{-34} J/s)

Los cuantos de **luz** se llaman **fotones**.

El **fotón** es una partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, o de otra forma el **fotón** es la forma de energía más pequeña que puede ser transportada. Los **fotones** no tienen todos la misma energía, sino que ésta depende de la frecuencia de la **luz** que los fotones componen. La mínima energía que una onda de **luz** de frecuencia **f** puede tener es **$h \cdot f$** , que es la energía de un **fotón**. Si la onda tiene más energía, su energía total debe ser un múltiplo entero de **$h \cdot f$** .

Un **fotón** es una partícula carente de tamaño real, no puede ser dividida, tiene una **masa** invariable de **ceró** y viaja en el vacío a una velocidad constante de 300,000 km/s.

Planck introdujo el concepto de la cuantización de la energía, abriendo las puertas a la mecánica cuántica.

Efecto fotoeléctrico.

¿Qué es el efecto fotoeléctrico?

En 1887 este efecto fue observado por el físico alemán **Heinrich Rudolf Herz** y básicamente consiste en que algunas superficies metálicas al irradiarlas con luz emiten electrones, a este fenómeno se le llamó **efecto fotoeléctrico**, sacando básicamente tres conclusiones.

La primera de ellas es que solo se emiten electrones cuando la frecuencia de luz con la que se irradiaba era superior a una frecuencia umbral (**$f > f_0$**), por debajo de la cual no se emitía nada, independientemente de la intensidad de la luz.

La segunda conclusión de **Herz**, es que por encima de la frecuencia umbral (**f_0**), al aumentar la intensidad de la **luz**, implicaba un mayor número de electrones emitidos, pero con la misma energía cinética. La cual únicamente dependía de la frecuencia de la **luz** con la que se irradiaba, pero no de la intensidad.

La tercera conclusión que sacó **Herz**, es que no existe ningún retraso entre la irradiación de la **luz** y la emisión de electrones, en otras palabras, la emisión era instantánea e independiente a la luz frecuencia de la **luz** irradiada.

En 1905, **Einstein** fue capaz de predecir el efecto fotoeléctrico matemáticamente y postuló que la energía de un haz de **luz** no se difunde en forma continua a través del espacio, supuso que la **energía luminosa** se encuentra en pequeños paquetes (**fotones**) cuyo contenido de energía está dado por la ecuación de **Planck**.

Einstein logró explicar las conclusiones de **Herz** tomando las ideas de **Planck**, básicamente dijo que aquello que estaba cuantizado no eran solo las vibraciones de la

materia, sino que también la propia **luz** estaba cuantizada, es decir que la **luz** es emitida y absorbida en paquetes discretos de energía.

Así, si en lugar de imaginar a la **luz** como una onda que se reparte en toda la superficie, la imaginamos como paquetes individuales e indivisibles con una energía **E** proporcional a la frecuencia **f**, los problemas del efecto fotoeléctrico se resuelven.

Si consideramos que para arrancar un electrón del material hace falta una energía mínima ($E_{umbral} = h * f_0$) que resulta de multiplicar la frecuencia umbral por la constante de **Planck**, únicamente aquellos paquetes de luz con una energía igual al umbral lograrían arrancar un electrón de la superficie metálica, mientras que aquellos paquetes de menor energía no podrían hacerlo por mucha que aumentara su cantidad (intensidad), cumpliéndose la primera conclusión de **Herz**.

Además, estos paquetes de luz también llamados fotones son indivisibles y se absorben de manera individual, si la energía de los mismos es superior al umbral, el extra de energía aportará energía cinética al electrón emitido, cumpliéndose así la Ley de Einstein para el efecto fotoeléctrico, que dice que la energía del fotón es igual a la energía umbral más la energía cinética del electrón.

$$h * f_{del\ fotón\ de\ luz} = h * f_0 + E_{cinética\ del\ electrón}$$

De este modo la energía cinética del electrón emitido, únicamente depende de la frecuencia del fotón de luz y no de la intensidad total. Aumentar la intensidad de la luz irradiada (más número de fotones) solo aumentaría la cantidad de electrones emitidos pero no con más energía cinética en estos, con ello se cumple la segunda conclusión de **Herz**.

Además cuando las partículas de luz o fotones alcanzan la superficie del metal se absorben instantáneamente, transfiriendo toda su energía a los electrones, que son liberados sin ningún tiempo de retraso, cumpliéndose así la tercera conclusión del experimento fotoeléctrico.

Dado lo expuesto se puede concluir que en ocasiones la **luz** puede comportarse como onda y en otras como partícula, por consiguiente, la **luz** tiene **naturaleza dual**. La teoría ondulatoria se conserva ya que se considera que el **fotón** tiene una frecuencia y una energía proporcional a la frecuencia. Actualmente, se utiliza la teoría ondulatoria cuando se estudia la propagación de la **luz** y la teoría corpuscular para describir la interacción de la **luz** con la materia.

Así que podríamos decir que la luz es ambas cosas al mismo tiempo, una onda y una partícula (un fotón) o talvez ninguna, ya que puede ser un concepto tan complejo para nuestro cerebro que requerimos aproximarla de dos maneras diferentes para entenderla y en realidad sea una tercera cosa que al día de hoy todavía no comprendemos.

Cabe señalar que el origen de los **fotones de luz** no se comprendió sino hasta que **Niels Bohr** propuso en 1913 un modelo para el átomo basándose en la **teoría cuántica**. Bohr postuló que, si de alguna forma se suministrara energía a los átomos, por ejemplo; en forma de calor, los electrones orbitales pueden saltar a una órbita superior. Algún tiempo después, estos electrones excitados caerán de nuevo a su nivel original, liberando tantos **fotones de energía** como los que hayan sido absorbidos originalmente. **Bohr** estableció las bases para comprender la **emisión** y la **absorción** de radiación electromagnética en unidades cuánticas, ver Figura 2.20.

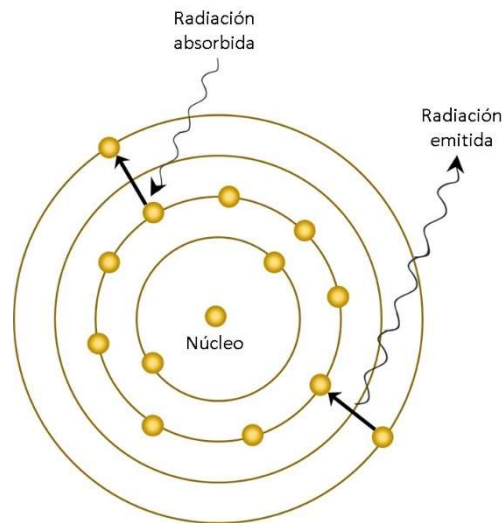


Figura 2.20 Átomo de Bohr, manera útil de visualizar las transiciones entre los niveles de energía. E. Tippens. (1973). Física, Conceptos y Aplicaciones, pág. 649.

2.2.1 ¿Qué es la luz visible?

Por lo consiguiente la **luz visible** es **energía visible**, es energía electromagnética a una escala que estimula la retina de nuestros ojos y que nuestro sistema visual capta, lo que nos produce la sensación de ver. Esta región del espectro tiene longitudes de onda que van desde los 400 nm (nanómetros) hasta los 700 nm, esta **banda visible** va del violeta al rojo. A cada longitud de onda del espectro visible se le asocia un **color**, que es el que percibe nuestra retina.

Otra cosa son los rayos infrarrojos, aunque también son radiaciones electromagnéticas, nuestros ojos no son sensibles a ellos y por tanto no tenemos la sensación de ver, pues lo que percibimos es calor, ver Figura 2.19.

Hoy se puede afirmar que la **luz visible** es **energía radiante** que se produce en los átomos en forma de **fotones** (corpúsculos), se propaga en forma de ondas

electromagnéticas y se detecta por el ojo u otros detectores en forma de corpúsculos, o de otra forma, la **luz** es una onda electromagnética formada por **fotones**, ver Figura 2.21.

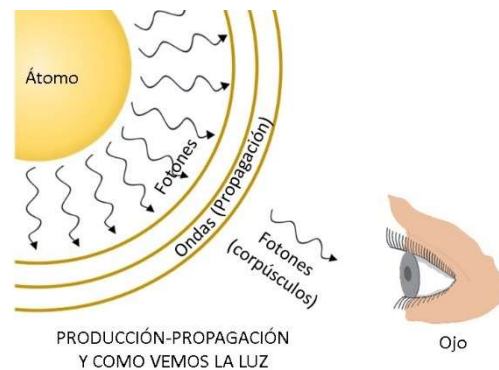


Figura 2.21 Producción, propagación y cómo es que vemos la luz.

El sistema visual humano convierte la energía de la **luz** que entra por los ojos en energía química que se utiliza para comunicar al cerebro la información recibida por el ojo. **Uno ve un objeto por la luz que se refleja de él.**

Hay ilusiones ópticas que nos confunden y nos hacen creer que vemos algo que no está ahí. Pero casi ninguna de ellas es en realidad óptica, es decir, no tienen lugar dentro del ojo, se crean en el cerebro cuando éste hace una falsa interpretación de la información visual que recibe.

Nuestra comprensión del mundo se filtra a través de nuestras experiencias pasadas, del conocimiento del mundo y de su funcionamiento, por lo que resulta tentador creer que sencillamente vemos lo que tenemos delante de los ojos, **cuando la verdad es que vemos con el cerebro y no con los ojos.**

2.2.2 Qué es el color?

En 1666, al pulir unas lentes para su telescopio, **Isaac Newton** empezó a preguntarse por qué se producían franjas de colores en los bordes de las lentes y se puso a pensar sobre ello. Esta inquietud, que ya se planteaba desde la época de Aristóteles, **Newton** hizo que lo obvio fuera explicado. ¡La **luz** puede ser separada! La separación de la **luz** visible se conoce como **dispersión**, ver Figura 2.22.

Cada **color** es característico de una longitud de onda, si hacemos pasar luz blanca por un prisma, la dispersión produce colores: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, añil y violeta.

Cada uno de estos colores produce, a su vez, una luz que se llama luz monocromática o radiación monocromática.

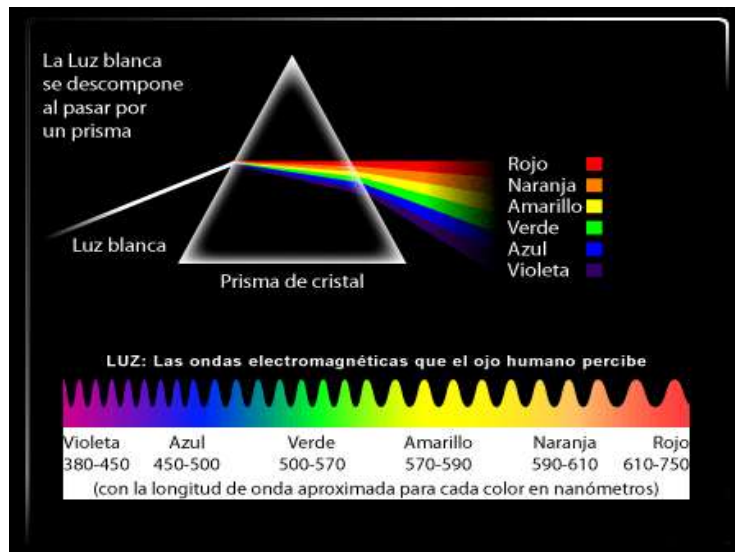


Figura 2.22. CRATES. (2008). Descomposición de luz blanca al pasar por un prisma de cristal. 01/2020, de WIKIPEDIA Sitio web: https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:EM_spectrum_es.svg

El color es una característica muy importante de nuestro mundo visual, por más que resulte muy difícil describir lo que es. No sólo es complicado de definir, sino que, además no es lo que solemos creer. En el nivel más básico, respondemos a diferentes longitudes de onda de la **luz** con la sensación del **color**. Los famosos experimentos de **Isaac Newton** con luz del sol y prismas, en los que reprodujo el comportamiento de los arcoíris, demostraron que la **luz blanca** es una mezcla de colores.

En la teoría electromagnética los **distintos colores** están atribuidos a las distintas **frecuencias**. Las longitudes de onda de los distintos **colores** varían al pasar de un medio a otro, pero las **frecuencias** permanecen constantes, por lo que **los colores no cambian**.

A menudo pensamos en el **color** como una característica intrínseca de un objeto o un material (la cascara de la naranja es de color naranja y un coche rojo es de color rojo). Sin embargo, esto no es siempre así: hay ciertas condiciones en que la naranja y el coche no se ven del color que esperamos. Cuando decimos que un coche es rojo, lo que en realidad queremos decir es que bajo condiciones de luz blanca el pigmento de la pintura del coche refleja sobre todo luz roja. Esto evidencia una discrepancia de como solemos describir el **color** y los objetos.

Cuando todas las longitudes de onda del espectro visible llegan a nuestro ojo al mismo tiempo, percibimos el **blanco**. En realidad, el blanco no es un **color**, sino más bien la suma de todos los colores. Si todas las longitudes de onda llegan a nuestro ojo y nos dan apariencia de blanco entonces, si ninguna longitud de onda llega a nuestro ojo, tendremos apariencia de **negro**. Otra vez, el **negro** no es un color, sino la ausencia de longitudes de onda del espectro visible.

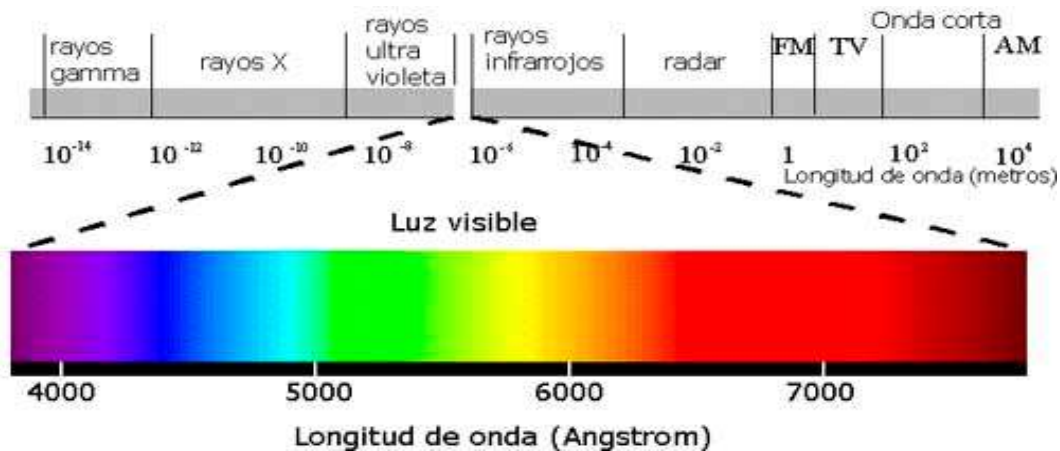


Figura 2.23 CRATES. (2008). Longitudes de onda del espectro visible. 01/2020, de WIKIPEDIA Sitio web: https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:EM_spectrum_es.svg

Los objetos tienen **color** cuando son iluminados por luz blanca, debido a que reflejan o transmiten en la luz de la longitud de onda del color que parecen tener; las demás longitudes de onda de la luz blanca son absorbidas.

Un rayo de **luz** es para nosotros visible cuando choca con materiales como una superficie sólida o polvo; es decir, se hace visible cuando incide en algo que **refleja** parte de **luz** hacia nuestros ojos.

Nosotros percibimos los **colores** en la naturaleza debido a la forma en como la **luz** interactúa con las moléculas que componen la materia. La materia **absorberá** parte de la radiación electromagnética que la **impacta** (transformándose en energía térmica) y **reflejará** otra. El **color** que nosotros percibimos depende de la frecuencia de las ondas electromagnéticas reflejadas. Por ejemplo; vemos las hojas de los árboles de color verde por que las moléculas de clorofila reflejan ondas electromagnéticas de una longitud de onda que van de los 492 a los 527 nm, que resulta ser el rango de longitudes de onda que nuestro cerebro interpreta como verde.

2.3. Motores y Arrancadores.

2.3.1 Definición de motor eléctrico de corriente alterna.

El motor es una máquina rotatoria que convierte la **energía eléctrica** en **energía mecánica**. Los **motores eléctricos de corriente alterna** se dividen en dos grandes grupos, en **motores síncronos** y **motores asíncronos o de inducción**:

a) Motores síncronos

- En los motores síncronos su velocidad de giro es constante y depende de la frecuencia de la tensión de la red eléctrica a la que esté conectado y por el número de pares de polos del motor, siendo conocida esa velocidad como

velocidad de sincronismo. Este tipo de motor contiene electromagnetos en el estator que crean un campo magnético que rota en el tiempo a la velocidad de sincronismo.

- Los **motores síncronos** se denominan así, porque la velocidad del **rotor n_r** y la velocidad del campo magnético del **estator n_s son iguales ($n_r = n_s$).**
- Los **motores síncronos** se usan en máquinas grandes que tienen una carga variable y necesitan una velocidad constante.
- En los **motores síncronos** la rotación del eje está sincronizada con la frecuencia de la corriente de alimentación; el período de rotación es exactamente igual a un número entero de ciclos de la corriente alterna.

La expresión matemática que relaciona la velocidad de la máquina con los parámetros mencionados es:

$$n_s = \frac{60 * f}{P} = \frac{120 * f}{p} \dots\dots\dots(2.3.1)$$

donde:

f: Frecuencia de la red a la que está conectada la máquina (Hz).

P: Número de pares de polos que tiene la máquina.

p: Número de polos que tiene la máquina.

n_s : Velocidad de sincronismo de la máquina (revoluciones por minuto).

Entre mayor es el número de polos **P** menor es la velocidad de giro del campo magnético en el **estator** o velocidad de sincronismo **n_s** .

b) Motores asíncronos o de Inducción

Estos a su vez se dividen en:

- **Motores de anillos rozantes o rotor devanado**, el cual es un motor de velocidad variable, quién a pesar de tener un alto par de arranque, en ese instante toma poca corriente de la línea. Por esta razón se recomienda su utilización para cuando la carga inicial es intensa y en motores grandes cuando se necesita reducir el efecto de una corriente al arranque y conservar un alto factor de potencia.

- **Motores tipo Jaula de Ardilla**, el cual es considerado como motor de velocidad constante y de uso común, recomendable cuando se requiere de un par regular de arranque.

Los motores eléctricos de corriente alterna se van a componer de dos partes fundamentales el **estator** y el **rotor**, ver Figura 2.24.

El **estator** va a crear el campo magnético giratorio, responsable de producir el arrastre, en el caso de los **motores de inducción**, de la parte móvil del motor (**el rotor**), por lo tanto el **estator** va a ser el **inductor** de la máquina y se va a componer de dos circuitos, **uno magnético o núcleo magnético**, compuesto por un tambor en forma cilíndrica a base de chapas de hierro al silicio y ranurado, aisladas entre sí con barnices para reducir pérdidas por corrientes parásitas y aumentar el rendimiento del motor. La misión de las ranuras es la de alojar los conductores de los devanados monofásicos que conformarán el circuito **eléctrico del estator**.

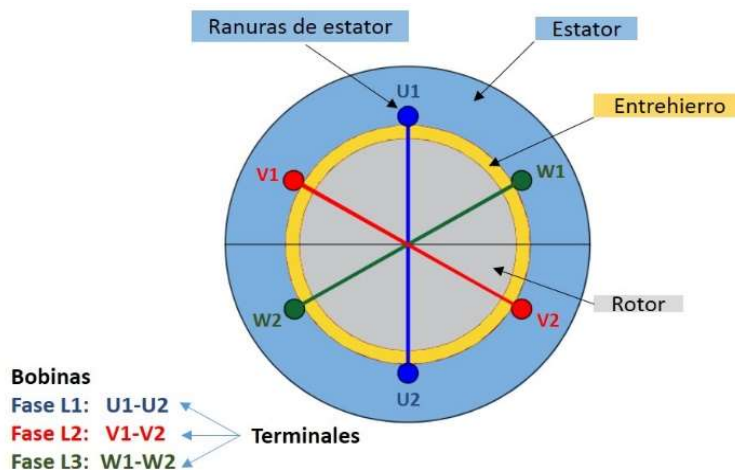


Figura 2.24 Devanado estatórico elemental. José Ignacio Lorenzo. (2017). Teoría de los motores de inducción trifásicos. 04/2019, de CIPF Sitio web: <https://www.bing.com/videos/search?q=motores+electricos&&view=detail&mid=D76134CBB27B4669958DD76134CBB27B4669958D&&FORM=VDRV SR>

El **rotor** va ser quien recoja los efectos de campo magnético para poder girar, por lo tanto va a ser el **inducido** de la máquina y va a estar formado por un **circuito magnético** (núcleo de hierro aliado con silicio) compuesto por chapas aisladas entre sí para reducir pérdidas por corrientes parásitas y un **circuito eléctrico** formado por un devanado, para el caso de los motores eléctricos de inducción jaula de ardilla, el **circuito eléctrico del rotor** serán barras de aluminio cuyos extremos estarán cortocircuitadas por dos anillos también de aluminio, ver Figura 2.25.

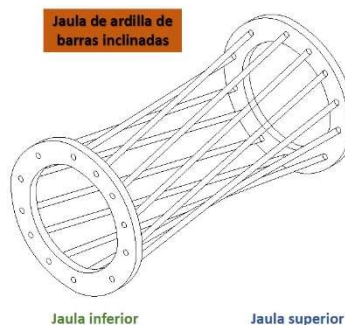


Figura 2.25 Rotor jaula de ardilla.

El circuito eléctrico se embebe o se introduce en el circuito magnético. Cuando al **estator** se conecta a la red trifásica, va a generar un campo magnético giratorio, el cual gira a la **velocidad de sincronismo n_s** .

Al crearse el campo magnético giratorio en el **estator**, provoca la inducción de corrientes en el **rotor**, quienes a su vez van a generar campos magnéticos a su alrededor que se oponen a los campos magnéticos que están induciendo esas corrientes, y la interacción de esos dos campos magnéticos va a producir el giro del rotor.

Es decir; se induce electricidad en el **rotor** no por conexión eléctrica directa sino por inducción magnética, de ahí que se les conozca como **motores de inducción**.

Para que gire el **rotor**, debe existir un movimiento relativo de velocidades entre la velocidad del campo magnético del **estator** y la velocidad de la masa que gira del **rotor n_r** , es decir; la velocidad de giro del **rotor** debe ser siempre menor a la velocidad de **sincronismo** o velocidad del campo magnético, de hecho, si llegaran a igualarse las velocidades de rotación del estator y la del rotor, el motor se frenaría.

$$n_r < n_s$$

En razón a lo anterior, se dice que existe una des sincronización entre la velocidad de giro del campo magnético en el **estator** y la velocidad de la masa que gira en el **rotor**, de ahí que se les llame **motores asíncronos**.

2.3.2 Deslizamiento

Como ya sabemos la velocidad de giro del rotor **n_r** siempre va a ser menor que la velocidad de sincronismo **n_s** , la diferencia porcentual entre estas velocidades se llama deslizamiento **S** , ver Figura 2.26 y está dado por la ecuación (2.3.2).

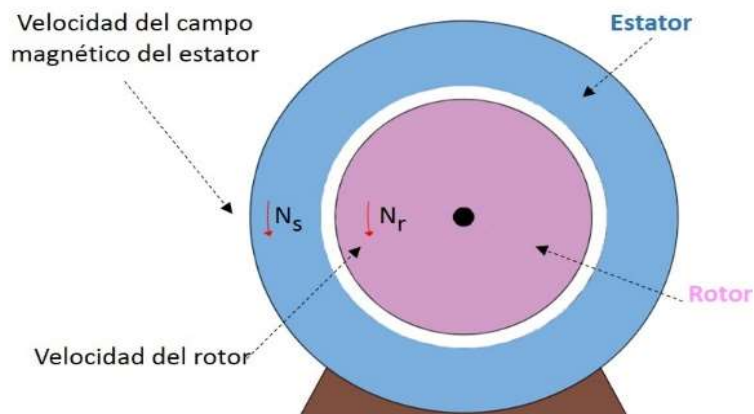


Figura 2.26 Concepto de deslizamiento.

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100 \dots\dots\dots(2.3.2)$$

Donde:

S = Deslizamiento en porcentaje

n_s = Velocidad de sincronismo, en r.p.m.

n_r = Velocidad del rotor, en r.p.m.

El **deslizamiento** nos aporta información sobre el comportamiento del motor:

- Los **deslizamientos** van a ser siempre menores que la unidad, ya que la velocidad de giro del rotor **n_r** siempre va a ser menor que la velocidad de sincronismo **n_s**.
- La velocidad del rotor **n_r** y el **deslizamiento S** evolucionan al revés, a menor velocidad del rotor mayor deslizamiento y viceversa.
- Un **deslizamiento** elevado implica que el rotor gira a una velocidad lenta, es decir; el **deslizamiento** aumenta con la carga.

Pensando en la velocidad de giro en el arranque del motor, en donde no hay velocidad de giro del rotor. El campo magnético empieza a girar a una velocidad de sincronismo, imaginemos que no hubiera velocidad de giro en el rotor, el deslizamiento sería de **1**, del 100%, sería el máximo deslizamiento, **es decir el rotor no se mueve**.

Solamente gira o se mueve el campo magnético en el estator, pero el rotor no se mueve, está frenado, cuando se libera el rotor, su velocidad se va incrementando hasta la velocidad de sincronismo sin alcanzarla. Por lo tanto, cuanto más cerca esté de la velocidad de sincronismo, la diferencia entre ambas velocidades cada vez será menor, con lo cual los deslizamientos se aproximarán más hacia **cero**.

2.3.3 Par electromagnético o par motor.

A los motores los utilizamos para mover cargas, bien sea para arrastrar los álabes de una bomba o mover un ventilador, entonces de lo que se trata es de que se tenga una fuerza suficiente o suficiente **par** para mover esos elementos.

A fin de explicar de lo que se trata un **par fuerzas** es lo que hacemos cuando tomamos el volante del coche, una mano gira para un lado y la otra gira hacia el otro o una tira

hacia un lado del volante y la otra hacia el otro, produciendo el giro del volante. Ese **par de fuerzas** son las que se van a producir en el rotor, ver Figura 2.27.

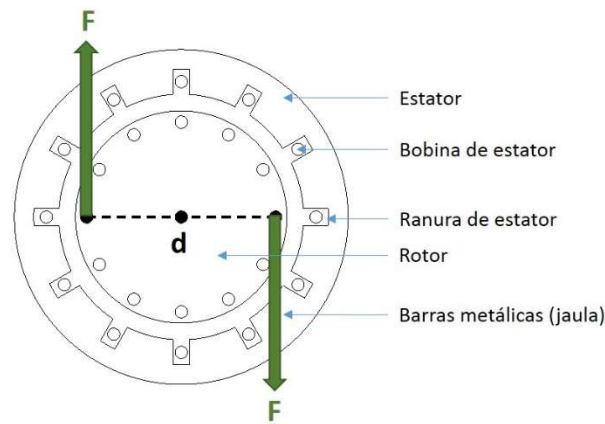


Figura 2.27 Concepto par de fuerzas.

El par de fuerzas **M** va a depender de la magnitud de la fuerza **F** y de la distancia **d** que exista entre ellas.

$$M = F \times d \dots\dots\dots(2.3.3)$$

M = Par de fuerzas en Newton por metro (N x m).

F = Fuerza electromagnética en Newtons (N).

d = Diámetro del rotor en metros (m).

2.3.4 Curvas del par y de la intensidad.

Dentro de lo que es un motor de inducción trifásico es importante comprender las curvas del **par** y cómo se comporta con respecto a la curva de **intensidad** (el consumo de ese motor). No solo es importante que el motor responda bien ante las cargas, sino también saber cuánto va a consumir ese motor moviendo una carga determinada.

El fabricante nos va a decir este motor funcionando a una velocidad determinada, si tiene que mover una carga determinada va a consumir una corriente determinada, si se va a no a sobrecargar, si se va a calentar demasiado o va a funcionar correctamente.

Por ello es importante analizar las curvas del **par** o al menos entender las curvas del **par** y la **intensidad** de consumo de estas máquinas, ver Figura 2.28.

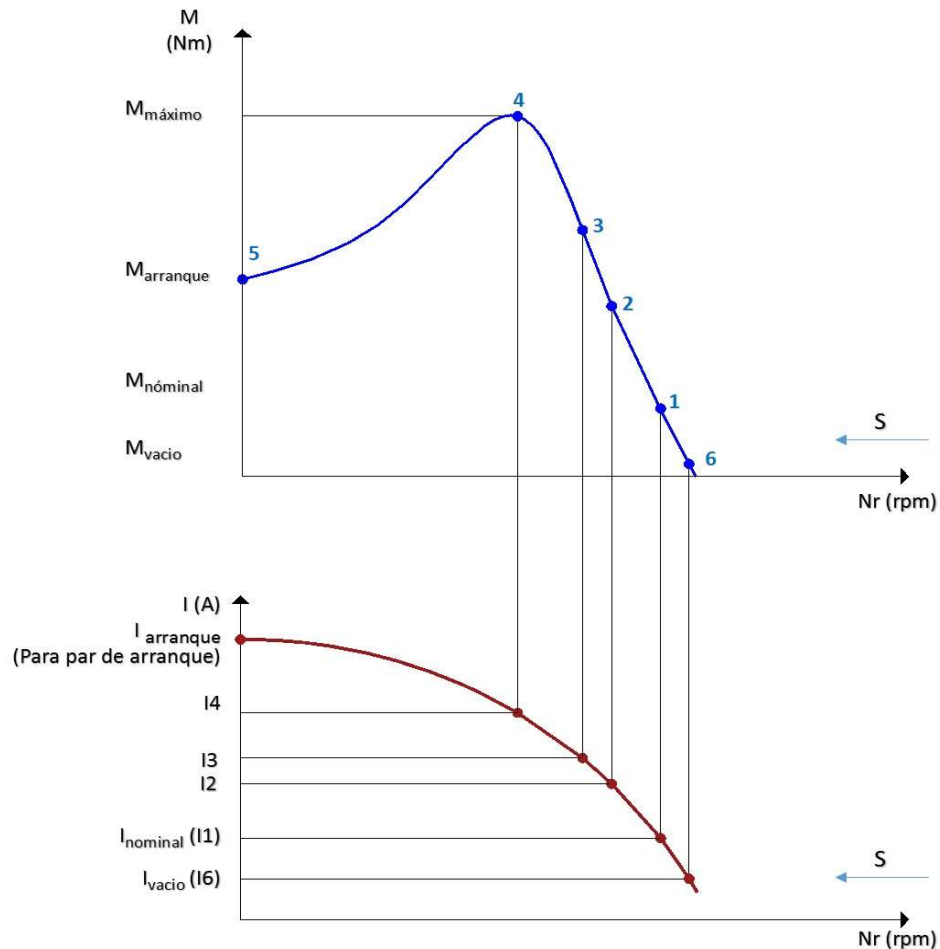


Figura 2.28. Curvas de par y de Intensidad. José Ignacio Lorenzo. (2017). Teoría de los motores de inducción trifásicos. 04/2019, de CIFP Sitio web: <https://www.bing.com/videos/search?q=motores+electricos&&view=detail&mid=D76134CBB27B4669958DD76134CBB27B4669958D&&FORM=VDRV> SR

Aquí se muestra una curva característica de **par** de una máquina de inducción, proporcionada por el fabricante de dicha máquina, hay varios puntos sobre esa curva.

Para que la máquina pueda arrancar, se debe confirmar que el **par de arranque** esté por encima del **par resistente** de la carga.

Tenemos el **par que ejerce el motor**, pero en el momento en que al eje de ese motor se le conecta una carga, a esa carga cuesta moverla, y cuesta moverla porque tiene un **par** que se opone al **par** ejercido por la máquina, es decir esa carga tiende a permanecer en equilibrio o tiende a permanecer quieta, de ahí que el motor tenga que vencer lo que se llama un **par resistente**.

Justo donde se vayan a cortar las curvas del **par resistente** que depende de la carga y la característica del **par del motor** nos va a dar diferentes puntos de funcionamiento, que como ejemplo se pusieron algunos sobre esta curva.

El **par nominal** es el **par máximo** correspondiente a condiciones buenas de refrigeración, no habrá sobrecalentamiento en los conductores de los devanados, es el

par que puede mover ese motor sin ningún tipo de problemas, todo lo que esté por arriba del **par nominal** van a ser **sobrecargas** para el motor.

Un motor puede mover cargas que le exijan ejercer un **par** por debajo del **par nominal**, sin problema alguno, no estaría para nada sobrecargado, cuando llegue al **par nominal** tendrá las condiciones que marca el fabricante, las máximas de trabajo sin que el motor sufra ningún daño.

Si pasamos del punto **1** al punto **2** el motor ya está por encima de ese **par nominal** y por tanto el motor empieza a estar **sobrecargado levemente**.

Relacionando estos dos puntos en la curva de corriente, se observa que en el punto número **1** para condiciones de **par nominal**, tendría la intensidad nominal (**Inominal**), por los devanados estaría circulando una intensidad de corriente que no produciría un sobrecalentamiento en ellos. Un sobrecalentamiento siempre se produce, la refrigeración del motor está pensada para disipar perfectamente ese calor, para que no haya sobrecalentamiento importante.

Sin embargo, en el momento que la **carga aumenta** o el **par resistente de la carga aumenta**, estaremos frenando mecánicamente poco a poco al motor. Entonces al pasar del punto **1** al punto **2**, pasamos de unas condiciones de trabajo de **par nominal** a unas condiciones donde se ha frenado un poco al rotor, si nos fijamos en el eje de las abscisas **n_r (rpm)**, al pasar al punto **2** se ha frenado un poco el motor.

Fijándonos ahora en la intensidad de corriente que está circulando por los devanados, ha aumentado y no lo hace levemente, sin embargo **va ser una sobrecarga** que el motor va a poder aguantar sin problemas durante cierto tiempo.

Si se frena un poco más al motor, al pasar del punto **2** al punto **3**, ahora el motor estaría en condiciones de **sobrecarga importantes**.

Aunque los fabricantes nos dan unas condiciones de trabajo idóneas, es decir las máximas posibles sin que sufra el motor, también sobre estas características nominales de operación, **los motores admiten una sobrecarga del 125%**, es decir sobrecargas leves, sin embargo, a partir de ese valor se trataría de sobrecargas importantes.

En el punto **3** el motor tiene que ejercer un **par muchísimo mayor** que el **par nominal** y por tanto el consumo de corriente va a ser muchísimo mayor que la corriente nominal, habrá un sobrecalentamiento importante, los medios de refrigeración del motor (las aletas, el ventilador) no alcanzarán a disipar ese calor, de tal forma que si el motor sigue bajo esta situación sufrirá daños severos, en muy poco tiempo.

El punto **4** es el **par máximo** que puede ejercer ese motor, es decir; ésta sería la máxima carga que el motor puede mover.

En este **par máximo** a intensidad se ha incrementado sustancialmente, por lo en muy poco tiempo el motor se va a degradar severamente o en el mejor de los casos saltarán las protecciones esto si se han seleccionado correctamente.

El punto **5** corresponde al **par de arranque del motor**, es **inferior al par máximo** y debe ser superior al **par resistente de la carga** (en estático). **La corriente** en el **arranque** como se puede apreciar es la **máxima**, de ahí que la normativa nos obligue a que en caso de motores de más de 746 W (1 HP) a controlar esas puntas de arranque.

Cuando nos referimos a las puntas de arranque, nos referimos a la intensidad que se produce y que es la máxima en los arranques de los motores. Esta va a ser la razón fundamental por la que tengamos diferentes tipos de arranques de motores de inducción, tendientes a controlar estas puntas de arranque.

Por otra parte, cualquier **carga** que está **por debajo** de la **nominal**, va a suponer que el rotor se mueva a más velocidad, acercándose a la velocidad de sincronismo. El punto **6** corresponde a cuando el eje del motor no tiene ningún tipo de carga conectada, aquí el consumo de corriente es la de vacío (**Ivacío**), es la mínima de este motor.

2.3.5 Arranque y punto de funcionamiento del motor.

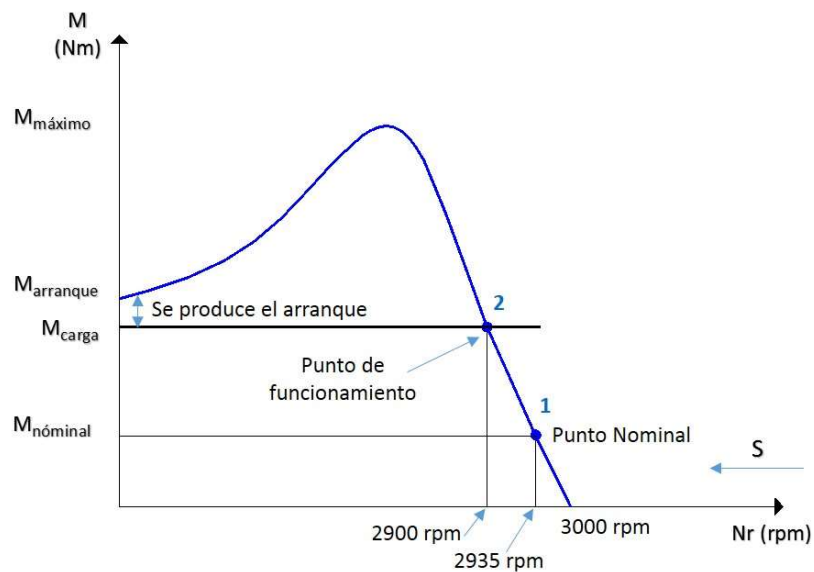


Figura 2.29 Arranque y punto de funcionamiento del motor. José Ignacio Lorenzo. (2017). Teoría de los motores de inducción trifásicos. 04/2019, de CIFP, Sitio web: <https://www.bing.com/videos/search?q=motores+electricos&&view=detail&mid=D76134CBB27B4669958DD76134CBB27B4669958D&&FORM=VDRVSR>.

El **par de arranque** debe ser superior al **par resistente de la carga**, ver Figura 2.29.

Si el **par** de arranque de la máquina es superior al **par resistente de la carga**, esa máquina será capaz de mover esa carga en el arranque. Si el **par resistente de la carga** estuviera por **encima del par de arranque**, la máquina no podría mover la carga, simplemente el motor no arrancaría.

El funcionamiento del motor para una carga indicada en el punto **2**, el motor estaría levemente sobrecargado. Si se incrementa el **par** resistente de la carga, lo que primero que ocurre en el motor es que se disminuye su velocidad y por tanto aumenta el deslizamiento ($n_s - n_r$) y se empeora el rendimiento de la máquina, ver Figura 2.30.

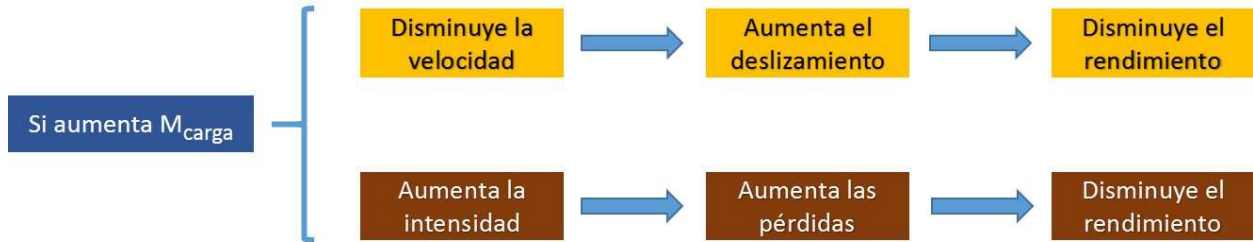


Figura 2.30 Interpretación del deslizamiento.

2.3.6 Rendimiento

El rendimiento de cualquier máquina es un índice, el cual refleja la cantidad de energía que realmente aprovecha para realizar cierto trabajo de la total que necesita para funcionar, ver Figura 2.31. Las máquinas eléctricas rotativas de inducción trifásicas van a consumir una potencia eléctrica de la red, pero de esa potencia eléctrica se van a ir realizando diferentes conversiones en un medio de acoplamiento que es un flujo magnético, es decir; se van a tener **pérdidas** por efecto **Joule** por calentamientos en el cobre del estator. Al circular corrientes eléctricas por un metal éste se va a calentar y por tanto se van a tener pérdidas de energía por calor que serían las pérdidas de energía en el núcleo del estator. Las corrientes parásitas en los núcleos magnéticos del estator y del rotor también hacen perder energía, por esta razón éstos van a estar formados por chapas, para reducir esas pérdidas en el hierro.



Figura 2.31 Interpretación de la potencia consumida y potencia mecánica útil del motor

En el entrehierro también se van a producir pérdidas, dado que la energía que consume la transforma en un campo magnético giratorio, pero cuando las líneas de ese campo atraviesan el entrehierro parte de ellas se van al aire, lo que se llama dispersión de flujo, esa dispersión va a suponer las pérdidas en el entrehierro.

En los devanados del rotor también se van a tener pérdidas por calentamiento o efecto Joule, así como pérdidas por rozamiento o pérdidas mecánicas.

Entonces, si a la potencia eléctrica que consume el motor se le restan todas las pérdidas que se producen por el camino, resulta la potencia que realmente aprovecha el motor o es la potencia útil y que se transformará en energía mecánica en el rotor del motor.

Es decir; el rendimiento de un motor, es el índice que indica cuanta energía se aprovecha con respecto a la energía que consume y está expresada mediante la siguiente ecuación.

$$\eta (\%) = \frac{P_{mec}}{P_{elec}} \times 100 \dots\dots\dots(2.3.4)$$

Los motores de inducción polifásicos se pueden conectar a la línea en forma directa, la desventaja es que al **arranque** absorben una excesiva corriente, especialmente cuando lo hacen con carga, **dicha corriente de arranque llega a ser hasta de cuatro veces la corriente de placa o de plena carga.**

Toda vez que los **H.P.** marcados en los datos de placa de los motores solamente nos indican la potencia en la flecha más no la potencia que toman de la línea, se deben considerar los valores en **W** de la TABLA 2.4, para así incluir las pérdidas al cambio de energía eléctrica a mecánica.

TABLA 2.4.- Equivalencia de motores eléctricos

POTENCIA INDICADA EN H.P.	TENSIÓN DE OPERCIÓN	
	MONOFÁSICO EN WATTS	TRIFÁSICO EN WATTS
1/20	60.0	
1/16	80.0	
1/8	150.0	
1/6	202.0	
1/4	293.0	264.0
1/3	395.0	355.0
0.5	527.0	507.0
0.75	780.0	740.0
1.00	993.0	953.0
1.50	1480.0	1418.0
2.00	1935.0	1844.0
2.5	2390.0	2290.0
3.00	2766.0	2726.0

5.00		4490.0
7.00		6293.0
7.50		6577.0
10.00		8674.0
15.00		12860
20.00		16953.0
25.00		21188.0
30.00		24725.0
40.00		32609.0
50.00		40756.0

Para motores de más de 50 H.P. multiplicar los H.P. por 800 Watts

FÓRMULAS

MOTORES DE CORRIENTE CONTÍNUA.

$$I = \frac{H.P. \times 746}{E \times \eta} \dots\dots\dots(2.3.5)$$

η = Eficiencia del motor

I = Corriente en ampres

E = Tensión en **V**

H.P. = Caballos de potencia (potencia en la flecha)

MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA.

MONOFÁSICOS

$$I = \frac{H.P.* 746}{En * \eta* f.p.} \dots\dots\dots(2.3.6)$$

$$I = \frac{W}{En * f.p} \dots\dots\dots(2.3. 7)$$

TRIFÁSICOS

$$I = \frac{H.P.* 746}{\sqrt{3} * E_f * \eta * f.p.} \dots\dots\dots (2.3.8)$$

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} * E_f * f.p.} \dots\dots\dots (2.3.9)$$

η = Eficiencia del motor

I = Corriente en ampres

E_n = Tensión en Volts entre fase y neutro

E_f = Tensión en Volts entre fases

f.p. = Factor de potencia expresado en decimales

H.P. = Caballos de potencia (potencia en la flecha)

W = Total de watts que toma el motor de la línea (**ver tabla 2.4**)

La Figura 2.32 muestra los elementos que debe contener un circuito eléctrico que alimente a un motor.

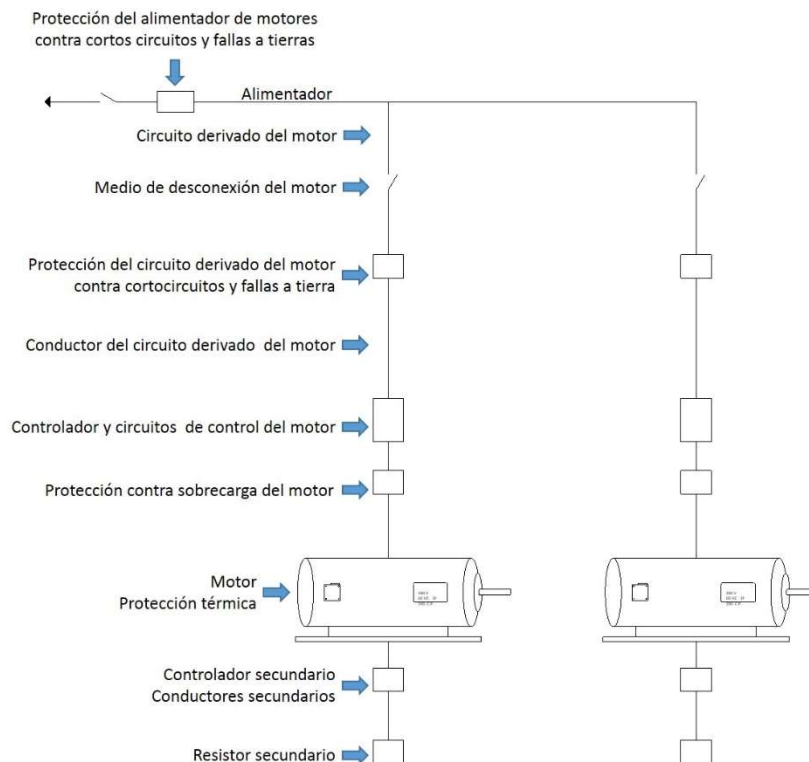


Figura 2.32. Elementos que debe contener un circuito eléctrico que alimente a un motor.

Corriente a plena carga de un motor.- Es la corriente que éste consume cuando desarrolla su potencia nominal al voltaje marcado en la placa y a velocidad normal. Estas corrientes se encuentran en las tablas **430-248** y **430-250** para motores monofásicos y trifásicos respectivamente, de la **NOM-001-SEDE-2012**.

Potencia a rotor bloqueado de un motor.- Es la potencia obtenida cuando se bloquea el rotor (no puede girar) a tensión plena. Esta potencia, de acuerdo a la letra de código para rotor bloqueado, se encuentran en la tabla **430-7 (b)** o para corrientes máximas a rotor bloqueado recurrir a las tablas **430 (a)** y **430 (b)** de la **NOM-001-SEDE-2012**.

La corriente a rotor bloqueado está dada por:

$$I = \frac{KVA. * 1000}{\sqrt{3} * Ef} \dots\dots\dots(2.3.10)$$

2.3.7 Controlador y protección contra sobrecarga de motores eléctricos

2.3.7.1 Definiciones

Controlador o arrancador.- Es todo interruptor o dispositivo que se usa normalmente para arrancar o detener un motor, estableciendo o interrumpiendo la corriente del circuito del motor. El controlador debe tener una capacidad en kW (C.P.) a la tensión eléctrica de suministro, que no debe ser menor que la del motor.

Circuitos de control del motor.- Es el circuito de un aparato o sistema de control que transmite las señales eléctricas que dirigen el desempeño del controlador, pero no conducen la corriente principal de potencia.

2.3.7.2 Protección contra sobrecarga de motores eléctricos

La **protección contra sobrecarga** protege al motor, al aparato de control de motores y a los conductores del circuito derivado de motores, contra el calentamiento excesivo debido a las sobrecargas del motor y a las fallas al arrancar.

El motor eléctrico carece de inteligencia que le permita discernir cuando está desarrollando un trabajo que excede los límites de la seguridad. Consecuentemente entrega todo el trabajo que le es requerido, excediéndose a tal grado que acaba por quemarse.

Para evitar esto se requiere de un dispositivo que supla la falta de inteligencia del motor y que impida que éste se llegue a quemar por trabajo excesivo. Este dispositivo conocido como protección de sobrecarga es en cierta forma un seguro de vida. Tal vez nunca se necesite, pero no se puede correr el riesgo de no contar con él.

Debe ser digno de confianza y estar preparado en cada momento para proteger la inversión en el equipo que protege. Debe ser además razonablemente barato en comparación con el riesgo contra el cual protege. Debe tener precisión para limitar la potencia entregada por el motor. Un motor con protección de sobrecarga inadecuada es como una caldera sin válvula de seguridad.

Lo que permite medir con precisión la carga aplicada a un motor y el calentamiento en él producido, es la corriente. Por ello el **dispositivo de protección de sobrecarga** forma generalmente parte integrante del **arrancador**. El **relevador de sobrecarga** conduce la corriente del motor y se **dispara** cuando se presente una situación peligrosa, desconectando al motor de la línea.

La **protección de sobrecarga** generalmente usado hoy en día para prácticamente todos los motores de corriente alterna y para la mayoría de los de corriente directa es del **tipo térmico** y forma parte integral del **control** o **arrancador** para lo cual hay buenas razones.

El problema como ya se dijo antes es el de prevenir el daño en el motor debido a sobrecalentamiento. Así pues, es necesario medir el efecto térmico acumulativo de la corriente que circula por el motor.

Un motor eléctrico puede soportar por poco tiempo una sobrecarga apreciable; puede soportar una sobrecarga grande, pero durante menor tiempo y es deseable que así sea.

Las sobrecargas intermitentes producen un efecto térmico acumulativo en el motor. En vista de esto, los diseñadores de **relevadores de sobrecarga** hacen éstos con características de almacenamiento de calor semejantes a los de los motores, pero añaden una característica que es la de rapidez para que el **relevador** alcance la temperatura de **disparo** antes que el motor alcance una temperatura peligrosa.

La capacidad nominal de un motor, en H.P. o en amperes está determinada por la cantidad de trabajo que puede realizar el motor a una temperatura ambiente de 40 °C y dentro de límites de seguridad. Los límites de seguridad son los que **NO** permiten que la temperatura pueda dañar el aislamiento o acortar su vida. A menores temperaturas ambientes que se encuentran muy frecuentemente, el motor puede entregar con seguridad más potencia (12% más que a 25 °C). En cambio, a mayores temperaturas ocurre lo contrario.

Generalmente los controles se instalan en el mismo lugar que el motor por lo que ambos están expuestos a la misma temperatura ambiente. El **valor de disparo** corresponde a **98 °C** que es la temperatura peligrosa para los devanados del motor.

Casi todo medio concebible de registro de temperatura ha sido usado en los **relevadores térmicos de sobrecarga**; pero de hecho sólo dos quedan en uso actualmente. Uno es el bimetálico que al deflexionarse por el calentamiento produce el movimiento mecánico de disparo que desconecta al motor. El otro es el que aprovecha la fusión de una película de aleación eutéctica para producir dicho movimiento.

Debe recordarse siempre que la vida de un motor varía en forma inversa a la temperatura del mismo. La falla definitiva del motor puede ocurrir hasta un año después de la sobrecarga peligrosa.

Se estable como requisito que el **relevador de sobrecarga** dispare a 100% de su propia capacidad nominal y que ésta a su vez no sea mayor de **140%** de la corriente nominal de plena carga del motor, es decir; los elementos térmicos son calculados en promedio para una corriente de **1.4 veces la corriente nominal**, ya que su acción retardada les permite soportar la corriente de arranque, que aunque es bastante mayor, lo es en forma instantánea, según artículo 430-31 de la **NOM-001- SEDE- 2012**.

El sobrecalentamiento que sufre un motor y que ocasiona el disparo del relevador, realmente dura poco, lo cual permite que se pueda **restablecer** el relevador y arrancar nuevamente el motor. Sin embargo, antes de empujar el botón de **restablecer** para volver a arrancar el motor, es necesario investigar la causa del disparo.

Es de suma importancia que el relevador de sobrecarga sea de **disparo libre** es decir que se requiere que sea imposible que una persona manteniendo oprimido el botón de **restablecer** a mano o mecánicamente, logre que el motor sobrecargado se mantenga en marcha y por lo tanto llegue a quemarse. La mayoría, pero no todos, de los relevadores de sobrecarga son de **disparo libre**.

Se ha adoptado como cosa normal el **restablecimiento manual** en los relevadores de sobrecarga con la idea de que esto estimule al operador a investigar la causa de sobrecarga y al mismo tiempo permite un pequeño lapso de enfriamiento del motor después del disparo del relevador. Se pueden acondicionar los relevadores para restablecimiento automático; pero esto no es aconsejable, excepto en los casos en donde el control queda inaccesible completamente. El restablecimiento automático nunca debe ser usado en combinación con dispositivos pilotos automáticos tales como interruptor de presión o termostatos ya que en tales condiciones y al ocurrir una sobrecarga se establecería un ciclo de disparo y cierre que terminaría solamente al quemarse el motor.

Un **relevador de sobrecarga** no está diseñado ni construido para proteger la línea de alimentación del motor contra sobrecorrientes de corto circuito, fallas a tierra, ni fallas internas del motor. **Únicamente protege al motor contra sobrecargas correspondientes a rotor bloqueado o de menor intensidad.**

El **arrancador** en sí es capaz de interrumpir una corriente diez veces mayor que la nominal de plena carga del motor; pero las corrientes debidas a fallas de corto circuito son mucho mayores. Por ello es que el circuito debe estar siempre protegido por medio de **fusibles** o de **interruptores automáticos** y éstos deben instalarse antes del arrancador.

2.3.7.3 Arrancadores.

Un **arrancador** (o controlador) es todo interruptor o dispositivo que se usa normalmente para arrancar o detener un motor, estableciendo o interrumpiendo la corriente del circuito del motor, **debe tener la capacidad de interrumpir la corriente de rotor bloqueado del motor.**

Los motores trifásicos de inducción van a presentar una sobre intensidad o una intensidad muy alta en el arranque, de 4 a 7 veces la intensidad que consume en su punto de trabajo nominal.

Aunque esta sobre intensidad, para los motores trifásicos de inducción jaula de ardilla, decrece rápidamente conforme el motor va aumentando su velocidad hay que controlarla por normativa, ya que de lo contrario va a provocar caídas de tensión y perturbaciones en la red que pueden afectar a otros usuarios que estén en esa misma red.

Como norma práctica se tiene que motores de hasta **1 H.P.**, pueden conectarse directamente a la línea sin riesgo de dañarlos o provocar perturbaciones en el sistema eléctrico.

En general los motores de potencias superiores a **1 H.P.** deben estar provistos de métodos de arranque que no permitan que la relación entre la corriente que consume en el periodo de arranque y el de marcha normal **NO** supere ciertos límites.

Para la conexión de motores de hasta **10 H.P.** inclusive, se recomienda protegerlos con **“arrancadores a tensión completa”**.

Para motores de **15 H.P.** en adelante, por requerimiento de la **NOM-001- SEDE- 2012**, es necesario el uso de **“arrancadores a tensión reducida”** para que al arrancar el motor no produzca perturbaciones en el sistema eléctrico.

Cabe precisar que se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones impuestas por la **NOM-001- SEDE- 2012**.

- Cada motor debe tener su propio controlador individual.
- Los controladores deben tener una capacidad nominal, a la tensión de suministro, no menor que la potencia nominal del motor.
- Cada controlador debe tener capacidad de arrancar y parar el motor que controla y de interrumpir la corriente de rotor bloqueado del motor.
- No es necesario que el controlador abra todos los conductores del motor.

2.3.7.3.1 Arrancadores a tensión completa.

El **control** más económico y en consecuencia más empleado para los motores de inducción jaula de ardilla, es mediante el empleo del **arrancador a tensión completa** o a **tensión plena**, ver Figura 2.33.

Este tipo de control, tiene como inconveniente la aplicación súbita de un **par** mayor que el de a plena carga, el cual puede dañar la flecha de la máquina que se pretende mover (torciéndola o rompiéndola en el peor de los casos) y producir además perturbaciones en el sistema eléctrico, debido a la caída de tensión súbita producida por la alta corriente de arranque del motor. Las perturbaciones en el sistema eléctrico pueden constatarse por el parpadeo o cintileo de las lámparas e inclusive, en ocasiones, se provoca el paro de otros motores.

Por las anteriores razones, la Comisión Federal de Electricidad, objeta el empleo de **arrancadores a tensión completa** para motores grandes (**de 15 H.P. en adelante**), para los que exige el empleo de **arrancadores a tensión reducida**, para con ellos reducir el **par** y la corriente de arranque. La corriente podrá reducirse lo más que permita la reducción del **par**, siendo un valor mínimo de este, el que determina la tensión que debe aplicarse.

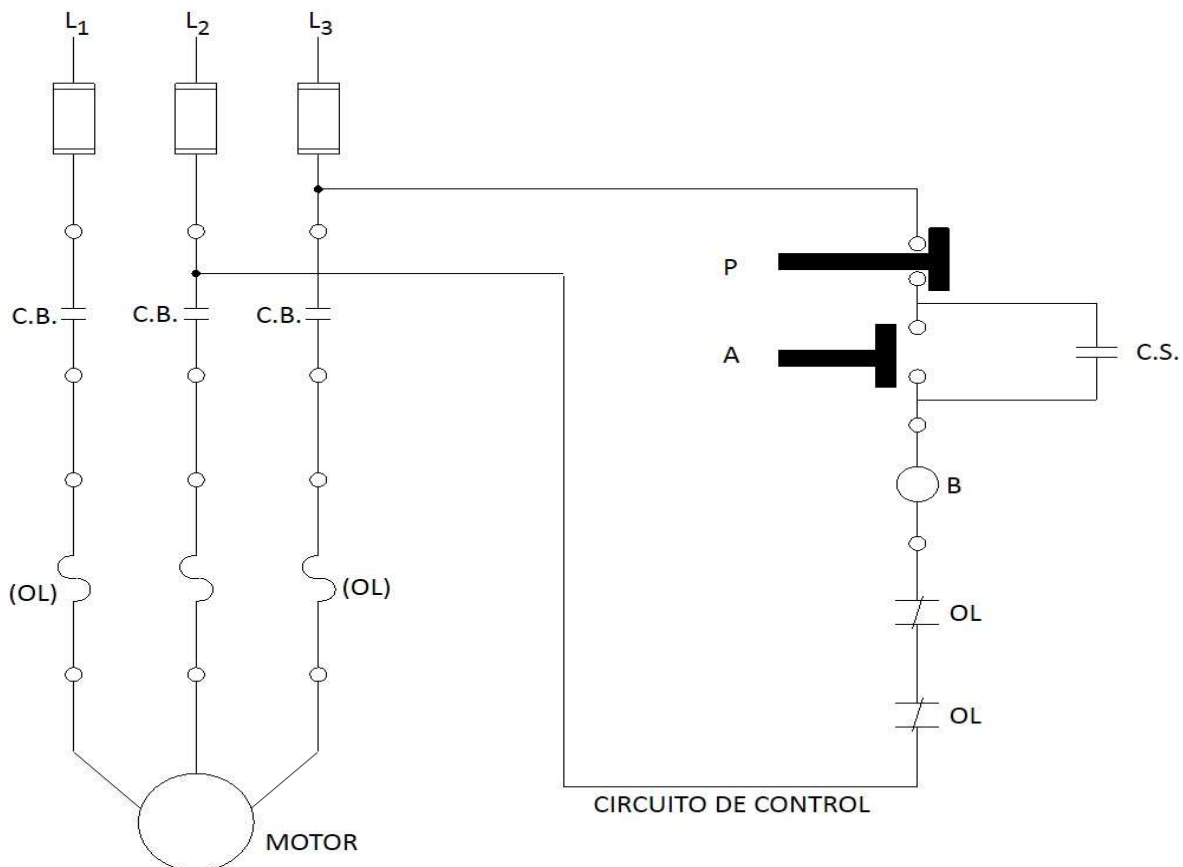


Figura 2.33 Diagrama de conexión de un motor trifásico protegido con arrancador magnético a tensión completa

La secuencia de operación de un **arrancador a tensión plena** es la siguiente; al oprimir el botón de arrancar (A), instantáneamente se cierra el contacto de **enclave** o también conocido como contacto de sello (C.S.), se energiza la bobina (B), se cierran los contactos de bobina (C.B.) quedando el motor conectado a la línea.

(OL) = Elementos térmicos de los relevadores de sobrecarga (over load).

OL = Relevadores de sobrecarga.

2.3.7.3.2 Arrancadores a tensión reducida.

La secuencia de operación de un **arrancador a tensión reducida** es la siguiente; al oprimir el botón de arranque (A), se energiza la bobina T.R. en 10, se cierran los contactos T.R. en 8 y 9, el contacto en 9 es de **enclave**, el contacto en 8 energiza la bobina **M** que cierra sus contactos en 2, 4 y 6, quedando el motor conectado a través de las resistencias, las que provocan una caída de tensión haciendo que el motor quede alimentado a "tensión reducida". El mismo contacto en 8 deja preparado el circuito para que el contacto T.R. en 7 que es el relevador de tiempo, al cerrar energiza a la bobina A y así el motor quede alimentado a la tensión de la línea, ver Figura 2.34.

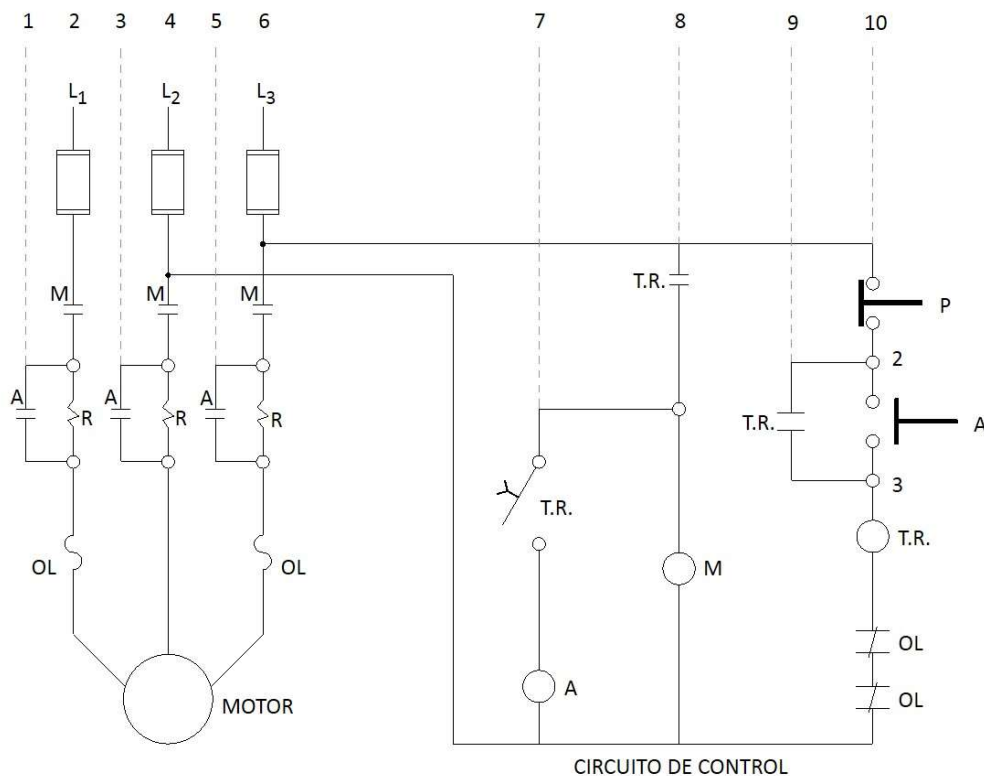


Figura 2.34 Diagrama de conexión de un motor trifásico protegido con arrancador magnético a tensión reducida; Becerril L. (2018). *Instalaciones Eléctricas Prácticas*, pág. 206.

Arranque mediante disminución de la tensión en el estator. De manera general este procedimiento se emplea en los arrancadores con autotransformador o en arrancadores estáticos.

Lo que hacen es disminuir la tensión de alimentación del motor para que arranque con un **par** menor y durante este periodo demande una intensidad de corriente menor, este método está limitado a cargas que ofrezcan un **par resistente** menor al **par de arranque** disminuido, lo anterior para poder moverlas, ver Figura 2.35.

El motor se va a mover por una curva de intensidad menor y llegando a cierta velocidad pasará a la curva de funcionamiento normal.

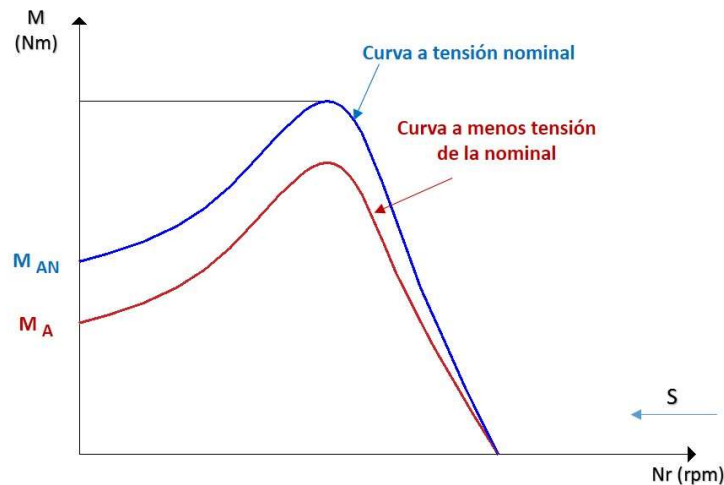


Figura 2.35 Curvas de par de arranque mediante la reducción de la tensión en el estator. José Ignacio Lorenzo. (2017). Teoría de los motores de inducción trifásicos. 04/2019, de CIFP, Sitio web: <https://www.bing.com/videos/search?q=motores+electricos&&view=detail&mid=D76134CBB27B4669958DD76134CBB27B4669958D&&FORM=VDRVSR>.

Arranque con autotransformador. El **par de arranque** (punto 1) del motor es más bajo que el **par nominal**, ver Figura 2.36.

En el periodo de arranque el motor se va moviendo por la curva del par y llegando a cierta velocidad (punto 2) se pasa a la curva de funcionamiento normal, con lo que se estaría evitando la punta de corriente en el arranque.

Las desventajas de este tipo de arranque es que el par de arranque se disminuye en forma cuadrática, por lo que sólo es aplicable a cargas de bajísimo par resistente, se utiliza poco ya que es muy caro el arrancador debido al precio del autotransformador.

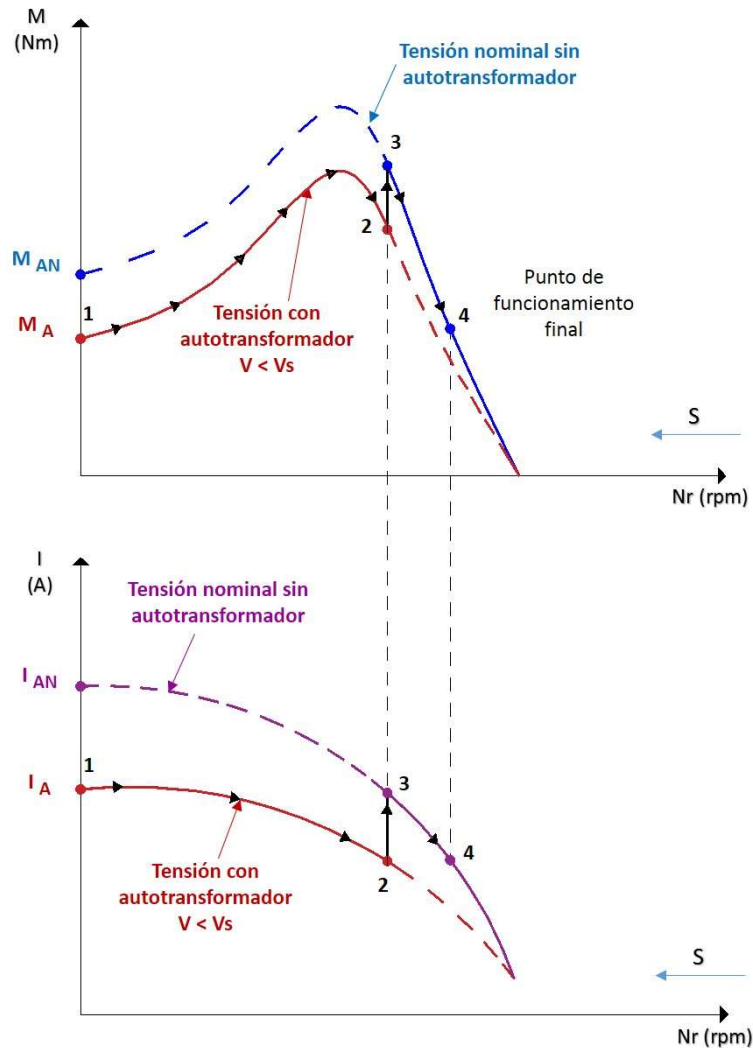


Figura 2.36 Curvas de par e intensidad con autotransformador. José Ignacio Lorenzo. (2017). Teoría de los motores de inducción trifásicos. 04/2019, de CIFP, Sitio web: <https://www.bing.com/videos/search?q=motores+electricos&&view=detail&mid=D76134CBB27B4669958DD76134CBB27B4669958D&&FORM=VDRVSR>.

Arranque estrella - triángulo. Este método se basa en conectar los devanados del estator del motor durante el periodo de arranque en estrella, con lo que los devanados quedan a una tensión $\sqrt{3}$ veces inferior a la de tensión nominal. Lo que se consigue es que el motor reduzca, durante este periodo, su consumo de corriente a $\frac{I_A}{3}$, es decir; un motor conectado en estrella consume $\frac{1}{3}$ de lo que consume en triángulo, con lo que estaría limitando el pico de corriente en el arranque. Una vez arrancado el motor, se hace el cambio a una conexión en triángulo, dado que cuando ya es superado el periodo de arranque, que es donde consume más corriente el motor, se debe cambiar a una operación con conexión en triángulo.

Lo anterior obedece a que la conexión en estrella ofrece un par disminuido en $\frac{M_A}{3}$ que el par que puede desarrollar en triángulo, por lo tanto, para poder mover cargas mayores después del arranque, se debe pasar al motor a una conexión en triángulo, Ver Figura 2.37. La gran diferencia entre otros métodos de arranque es que la reducción tanto de la tensión como de la intensidad de arranque es fija y no depende de la variación de otros factores.

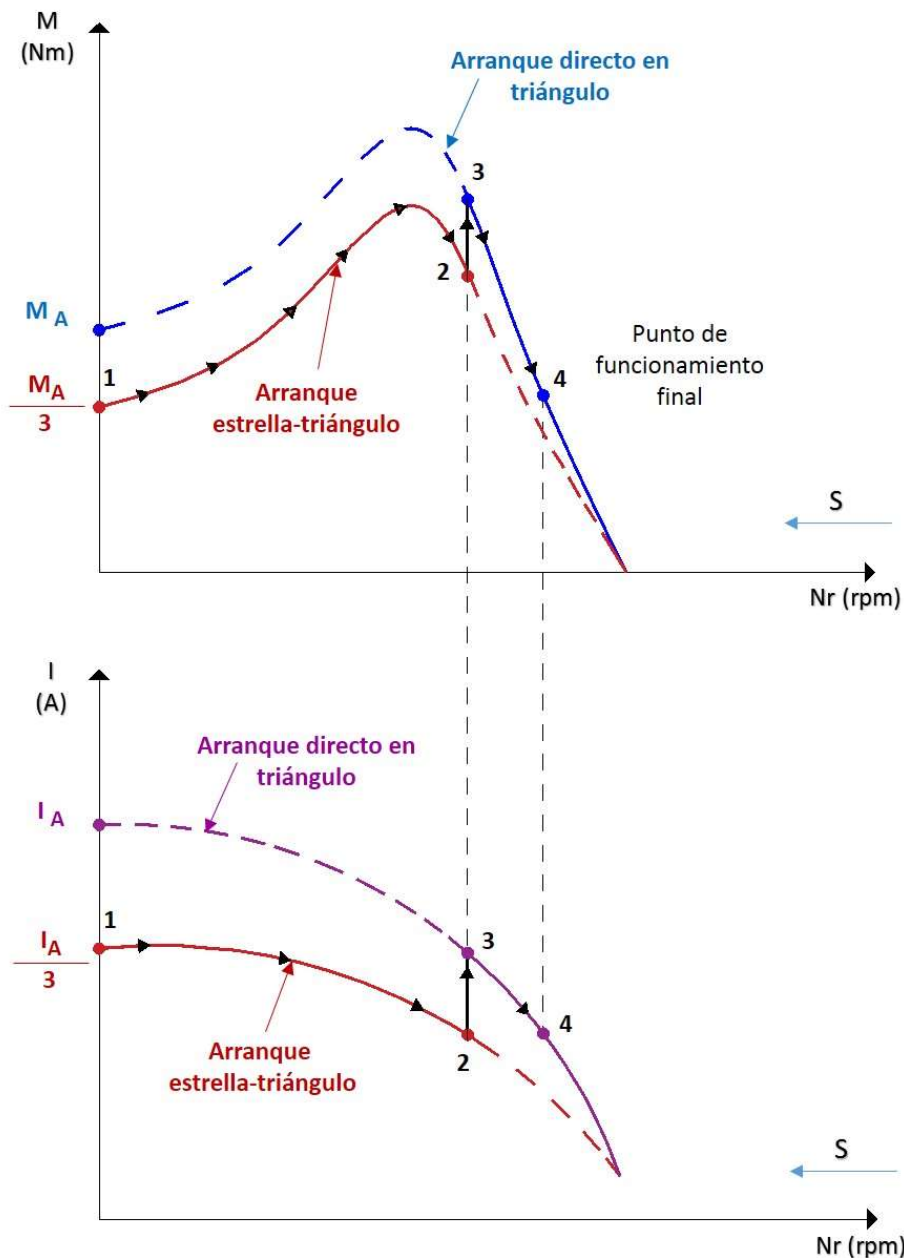


Figura 2.37 Curvas de par e intensidad con arranque en estrella-triángulo. José Ignacio Lorenzo. (2017). Teoría de los motores de inducción trifásicos. 04/2019, de CIFP, Sitio web: <https://www.bing.com/videos/search?q=motores+electricos&&view=detail&mid=D76134CBB27B4669958DD76134CBB27B4669958D&&FORM=VDRV SR>.

2.3.8 Cálculo de los conductores de alimentación a motores

Para la selección de los conductores de un circuito que alimenta motores, se debe tener en cuenta que los conductores deben ser capaces de conducir la corriente del motor sin sobrecalentarse, bajo las condiciones especificadas. Para realizar estos cálculos no se deben utilizar las corrientes indicadas en la placa de los motores, se debe recurrir a las corrientes nominales a plena carga de motores, indicadas en las tablas 430-247, 430-248 430-249 y 430-250 de la **NOM-001-SEDE- 2012**.

Asimismo, los tamaños de los conductores se deben seleccionar de las tablas de ampacidad permisible indicadas en la tabla 310-15 (b)-(16) de la **NOM-001-SEDE- 2012**.

Los conductores que alimenten un **solo motor** usado en una aplicación de servicio continuo, **el circuito derivado** correspondiente estará provisto de conductores eléctricos que tengan una capacidad de corriente no menor al **125%** del valor nominal de corriente a plena carga del motor, según artículo 430-22 de la **NOM-001-SEDE- 2012**.

Los conductores que **alimentan varios motores** o **motores y otras cargas**, se deben calcular por corriente y por tensión. Éstos deben tener una ampacidad no menor a la suma de cada uno de los siguientes, según artículo 430-24 de la **NOM-001-SEDE- 2012**:

- 1) **125 %** de la corriente nominal de plena carga del motor con el valor nominal más alto en potencia.
- 2) La suma de las corrientes nominales de plena carga de todos los otros motores del grupo.
- 3) **100%** de las cargas no continuas que no son motores.
- 4) **125%** de las cargas que no son motores

En un grupo de motores no todos trabajan en forma simultánea, es aplicable un **factor de demanda** para determinar el valor de la corriente corregida, que es con la que finalmente se calcula la sección transversal de los conductores eléctricos (área del cobre), evitándose con ello grandes calibres, según artículo 430-26 de la **NOM-001-SEDE- 2012**. En las instalaciones de cualquier tipo en las que se prevé un aumento posterior de carga, es aconsejable no corregir el valor de la corriente, dejando así automáticamente sobrados los calibres de los alimentadores generales.

2.3.9 Cálculo del dispositivo de protección contra corto circuito y fallas a tierra.

Para el cálculo del dispositivo de protección contra corto circuito y fallas a tierra, se deben utilizar las corrientes nominales a plena carga indicadas en las tablas 430-247, 430-248 430-249 y 430-250 de la **NOM-001-SEDE- 2012**.

El dispositivo protector del circuito derivado contra cortocircuitos y fallas a tierra al cual esté conectado el motor, debe tener un **retardo suficiente** para permitir que el motor **arranque y acelere su carga**, es decir debe ser capaz de soportar la corriente de arranque del motor, según artículo 430-52 de la **NOM-001-SEDE- 2012**.

El dispositivo de protección contra cortocircuito y fallas a tierra para circuitos derivados de motores, que sea a base de un **interruptor automático de tiempo inverso**, se calculará para **250%** la **corriente nominal a plena carga del motor**, según tabla 430-52 de la **NOM-001-SEDE- 2012**.

Para el cálculo del **dispositivo de protección contra cortocircuito y fallas a tierra para varios motores**, se determina sumando el valor nominal o ajuste del dispositivo de protección contra corto circuito y fallas a tierra del circuito derivado para el motor mayor, más la suma de todas las corrientes de plena carga de los demás motores del grupo. Artículo 430-62 de la **NOM-001-SEDE- 2012**.

2.3.10 Medios de desconexión de motores y controladores.

Se exige un medio de desconexión fácilmente accesible capaz de desconectar los motores y controladores del circuito.

Se debe proporcionar un medio de desconexión individual para cada controlador o motor, el medio de desconexión se debe ubicar al alcance de la vista desde el lugar en que se encuentre el controlador, motor y la maquinaria accionada. No se exigirá un medio de desconexión para el motor siempre que el medio de desconexión del controlador se pueda bloquear individualmente en la posición de abierto.

El medio de desconexión para los circuitos de motores de 600 volts nominales o menos, debe tener un valor nominal de corriente que sea como mínimo el **115%** del valor nominal de corriente a plena carga del motor.

Los medios de desconexión pueden ser; un desconectador de navajas con capacidad en KW o C.P. o un interruptor automático abierto o en caja, con o sin protección térmica y magnética.

Cuando se usen juntos dos o más motores o cuando uno o más motores se usen en combinación con otras cargas, el valor nominal de corriente y potencia nominal en caballos de fuerza de la carga combinada se debe calcular como sigue:

El valor nominal del medio de desconexión se debe calcular sumando todas las corrientes, incluidas las cargas resistivas, en la condición a plena carga y también en la condición de rotor bloqueado. La corriente combinada a plena carga y la corriente combinada con rotor bloqueado así obtenida, se deben considerar como un solo motor de acuerdo con lo siguiente:

La corriente a plena carga equivalente al valor de potencia nominal en caballos de fuerza de cada motor se debe seleccionar de las tablas 230-248, 230-249 y 230-250 de la **NOM-001-SEDE- 2012**. Estas corrientes de plena carga se deben sumar al valor nominal de corriente en amperes de las demás cargas, para obtener la corriente equivalente de plena carga para la carga combinada.

La corriente con rotor bloqueado equivalente al valor de potencia nominal en caballos de fuerza de cada motor se debe seleccionar de las tablas 230-251(a) y 230-251(b) de la **NOM-001-SEDE- 2012**. Las **corrientes con rotor bloqueado** se deben sumar al valor nominal en amperes de las demás cargas, para obtener una corriente equivalente con rotor bloqueado para la carga combinada.

Para cuando se tienen **varios motores**, los conductores eléctricos alimentadores (alimentadores generales), se calcula por corriente y por caída de tensión, tomando como base que como máximo van a transportar el **125%** de la corriente del motor mayor potencia, más la corriente de placa de los demás motores y como mínimo, la corriente de arranque del motor de mayor potencia.

En un grupo de motores no todos trabajan en forma simultánea, es aplicable un **factor de demanda** para determinar el valor de la corriente corregida, que es con la que finalmente se calcula la sección transversal de los conductores eléctricos (área del cobre), evitándose con ello grandes calibres.

En las instalaciones de cualquier tipo en las que se prevé un aumento posterior de carga, es aconsejable no corregir el valor de la corriente, dejando así automáticamente sobrados los calibres de los alimentadores generales.

2.4. Cálculo del calibre de conductores eléctricos en baja tensión, por corriente y por caída de tensión, en los sistemas eléctricos aplicables a las instalaciones en general.

Para el cálculo del calibre de los conductores eléctricos, deben tomarse en consideración la potencia demandada por la carga, corriente por transportar y la caída de tensión máxima permisible según el caso.

W = Potencia, carga por alimentar o carga total instalada expresada en W.

$$E_n = \text{Tensión entre fase y neutro (127 V = } \frac{220}{\sqrt{3}}) \text{ o } E_n = \frac{E_f}{\sqrt{3}}$$

E_f = Tensión entre fases (En este trabajo se involucran tensiones en baja tensión de 220 V y 440 V)

I = Corriente en Amperes por conductor.

$\cos \varphi = \text{Factor de Potencia (F.P.)}$, o coseno del ángulo formado entre el fasor tensión tomado como referencia y el fasor corriente, cuyo valor se expresa en centésimas (0.85, 0.90, etc.), en realidad representa el tanto por ciento que se aprovecha de la energía proporcionada por la empresa suministradora del servicio.

$\cos \varphi = 1.00$ o 100% cuando se tienen conectadas puras cargas resistivas.

$\rho = \frac{1}{50}$; resistividad del cobre a 60 °C de temperatura ambiente, en Ohms/m/mm².

L = Distancia en metros desde la toma de corriente (subestación eléctrica, interruptor general, tablero de control, tablero de distribución., etc.) hasta el centro de carga; conocida como distancia al centro de carga.

S = Sección transversal o área de los conductores eléctricos en mm² (área del cobre sin aislamiento).

e = Caída de tensión entre fase y neutro.

e_f = Caída de tensión entre fases.

$e \% = (e) * \left(\frac{100}{E_n}\right)$ **Caída de tensión en tanto por ciento para sistemas monofásicos.**

$e_f \% = (e_f) * \left(\frac{100}{E_f}\right)$ **Caída de tensión en tanto por ciento para sistemas trifásicos.**

Hay que tener presente que salvo casos excepcionales como son circuitos derivados para un motor, hornos eléctricos o para cargas específicas, en un momento determinado no se dispone de toda la carga instalada, por lo que para evitar conectar conductores eléctricos de gran sección transversal, es aconsejable corregir la intensidad de corriente después de calculada de acuerdo con las fórmulas **2.4.1, 2.4.7, 2.4.12 y 2.4.17** que a continuación se indican, multiplicándose por un **FACTOR DE UTILIZACIÓN o FACTOR DE DEMANDA**, que según el tipo de instalación y el uso que se haga de ella, varía entre 0.6 a 0.9 (60% a 90%).

Por lo expuesto, cuando se trate de dar alimentación a una sola carga y cuando la carga total instalada sea la suma de varias cargas parciales que se supone no van a ser utilizadas en forma simultánea, se tiene que corregir la corriente para que de acuerdo al nuevo valor, se calculen los conductores eléctricos **por corriente y por caída de tensión** a través de las **fórmulas** siguientes, en la que se debe considerar la **CORRIENTE CORREGIDA I_c** .

2.4.1 Sistema monofásico a dos hilos (ver Figura 2.38).

(Fase y Neutro)

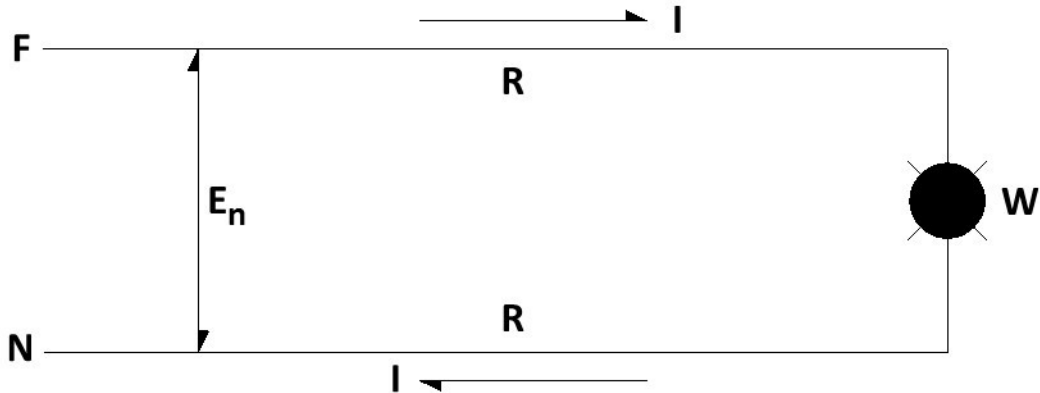


Figura 2.38 Sistema monofásico a dos hilos; Becerril L. (2018). *Instalaciones Eléctricas Prácticas*, pág. 118.

Este sistema se utiliza en instalaciones eléctricas de alumbrado y contactos sencillos (para aparatos pequeños), cuando todas las cargas parciales son monofásicas y la carga total instalada no es mayor de **4,000.0 W**.

Para circuitos derivados o servicios particulares de alumbrado y contactos sencillos (para aparatos pequeños), alimentados con un hilo de corriente y un hilo neutro, considerar una carga no mayor de **1,500.0 W**.

$W = E * I = \text{Potencia en W}$; En corriente alterna esta fórmula sólo nos da la **potencia aparente** o de línea y la **potencia real** siempre y cuando se tenga en el circuito **carga 100% resistiva**.

Como se trata de indicar la fórmula general, abarcando combinaciones de los **tres tipos de cargas eléctricas**: **carga resistiva**, **carga inductiva** y **carga capacitiva**, en ella se incluirá el “**factor de potencia**” o $\cos \varphi$.

$$W = E_n * I * \cos \varphi \dots\dots\dots (2.4.1)$$

El calibre o tamaño del conductor eléctrico “**Por corriente**” se calculará a través de:

$$I = \frac{W}{E_n * \cos \varphi} \dots\dots\dots (2.4.2)$$

El calibre del conductor eléctrico **Por Caída de Tensión** se calculará a través de:

$$e = 2 * R * I \text{ (por ser ida y retorno)}$$

Sin embargo ya se indicó que $R = \rho * \frac{L}{S}$ y que $\rho = \frac{1}{50}$; por lo tanto

$$e = 2 * \left(\rho * \frac{L}{S}\right) * I = 2 * \left(\frac{1}{50} * \frac{L}{S}\right) * I = \frac{2 * L * I}{50 * S} = \frac{L * I}{25 * S};$$

$$e = \frac{L * I}{25 * S}; \text{ caída de tensión entre fase y neutro(2.4.3)}$$

Sustituyendo en:

$$e \% = (e) * \left(\frac{100}{E_n}\right) = \left(\frac{L * I}{25 * S}\right) * \left(\frac{100}{E_n}\right) = \frac{4 * 25 * L * I}{25 * S * E_n} = \frac{4 * L * I}{S * E_n} \text{(2.4.4)}$$

$$S = \frac{4 * L * I}{E_n * e \%} = \text{sección del conductor para la Caída de tensión } e \% \text{(2.4.5)}$$

2.4.2 Sistema monofásico a tres hilos (ver Figura 2.39). (2 Fases y Neutro)

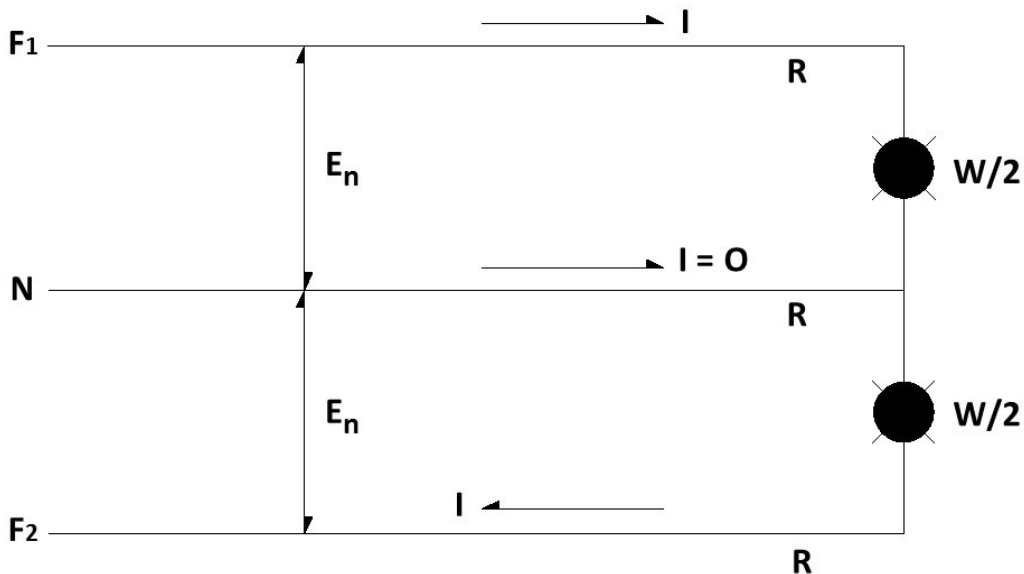


Figura 2.39 Sistema monofásico a tres hilos. Becerril L. (2018). Instalaciones Eléctricas Prácticas, pág 119.

Este sistema se utiliza en instalaciones eléctricas de alumbrado y contactos sencillos (para aparatos pequeños), cuando todas las cargas son monofásicas y la carga total instalada es mayor a 4,000.0 W pero que no sobrepase los 8, 000.0 W, cuyo valor multiplicado por el factor de demanda promedio de 0.7, se obtiene una demanda máxima aproximada de $8,000.0 * 0.7 = 5,600$ W, que repartida en los circuitos derivados, corresponden a 2,800.0 W de carga efectiva por cada hilo de corriente.

Si se observa detenidamente el diagrama anterior, realmente se trata de dos sistemas monofásicos a dos hilos.

$$W = 2 * (E_n * I * \cos \varphi) \dots\dots\dots (2.4.6)$$

El calibre del conductor eléctrico **“Por corriente”** se calculará considerando lo siguiente:

$$I = \frac{W}{2 * E_n * \cos \varphi} \dots\dots\dots (2.4.7)$$

El calibre del conductor eléctrico **Por Caída de Tensión** se calculará a través de:

Como la carga total conectada en realidad se reparte en dos sistemas monofásicos a dos hilos, la **corriente** y en consecuencia la **caída de tensión** es exactamente la mitad con respecto al sistema elemental de fase y neutro.

$$e = \frac{2 * R * I}{2} = R * I ; \text{ sin embargo ya se indicó que } R = \rho * \frac{L}{S}, \text{ por lo tanto}$$

$$e = (\rho * \frac{L}{S}) * I = (\frac{1}{50} * \frac{L}{S}) * I = \frac{2 * L * I}{50 * S} = \frac{L * I}{50 * S};$$

$$e = \frac{L * I}{50 * S}; \text{ caída de tensión entre fase y neutro } \dots\dots\dots (2.4.8)$$

Sustituyendo en:

$$e \% = (e) * (\frac{100}{E_n}) = (\frac{L * I}{50 * S}) * (\frac{100}{E_n}) = \frac{2 * 50 * L * I}{50 * S * E_n} = \frac{2 * L * I}{S * E_n} \dots\dots\dots (2.4.9)$$

$$S = \frac{2 * L * I}{E_n * e \%} = \text{sección del conductor para la “Caída de tensión” } e \% \dots\dots\dots (2.4.10)$$

Dado que se trata de un sistema que en realidad es difícil de balancear al 100%, en un momento dado el neutro trabaja como fase o hilo de corriente, transportando **2 veces** la corriente eficaz por fase ($\frac{\sqrt{2}}{2} = 1.4142$). Por lo anterior, es recomendable que cuando se trabajen dos fases con neutro común, al neutro se le considere mayor área que a los hilos de corriente por lo menos en un calibre.

Para entender mejor lo expresado, hay que tener presente que los aparatos de medición en corriente alterna (C.A.) no indican valores máximos ni valores promedios de las ondas sinusoidales de tensión, corriente o potencia, sino que indican el **valor eficaz** de las mismas, siendo $\frac{\sqrt{2}}{2} = 0.7071$ del valor máximo, por lo tanto $2 * 0.7071 = 1.4142$

2.4.3 Sistema trifásico a tres hilos (3 Fases) (ver Figura 2.40).

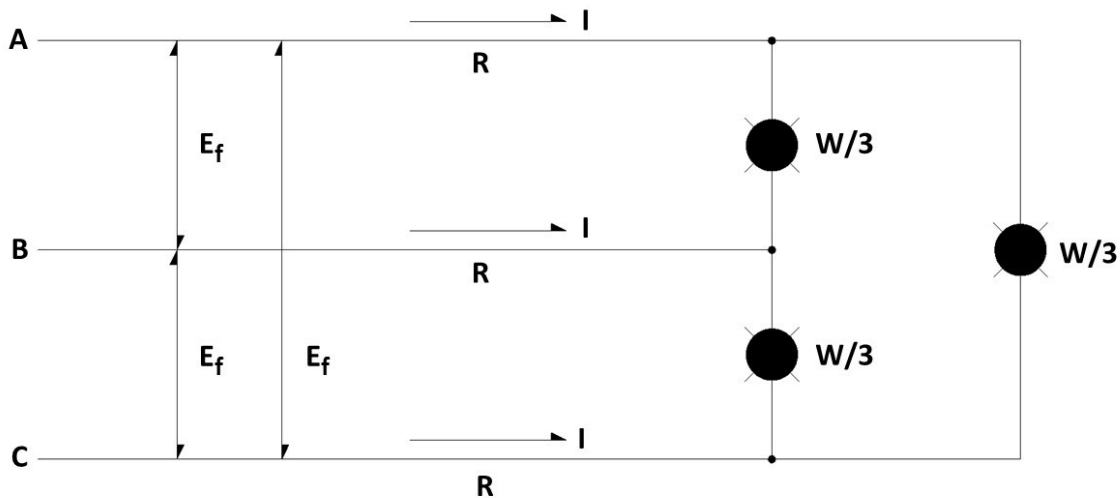


Figura 2.40 Sistema trifásico a tres hilos. Becerril L. (2018). Instalaciones Eléctricas Prácticas, pág 120.

$$W = (\sqrt{3} * E_f) * I * \cos \varphi \dots\dots\dots (2.4.11)$$

El calibre o tamaño del conductor eléctrico **“Por corriente”** se calculará a través de:

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} * E_f * \cos \varphi} \dots\dots\dots (2.4.12)$$

Este sistema es aplicado, cuando todas las cargas parciales son trifásicas, pero dividido en dos casos específicos.

1. Cuando las cargas parciales son 100% **resistivas** como resistencias de secadores, hornos eléctricos, el factor de potencia o $\cos \varphi = 1$, en consecuencia, las fórmulas (2.4.11) y (2.4.12) quedan:

$$W = (\sqrt{3} * E_f) * I \dots\dots\dots (2.4.11')$$

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} * E_f} \dots\dots\dots (2.4.12')$$

2. Cuando las cargas parciales son **inductivas** como motores eléctricos en su generalidad y dispositivos o equipos fabricados con bobinas, hay necesidad de incluir, además del factor de potencia o $\cos \varphi$, la eficiencia η promedio de los motores, en un valor nunca mayor de **0.85**, quedando las fórmulas:

$$W = (\sqrt{3} * E_f) * I * \cos \varphi * \eta \dots\dots\dots (2.4.11'')$$

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} * E_f * \cos \varphi * \eta} \dots\dots\dots (2.4.12'')$$

El calibre del conductor eléctrico **Por Caída de Tensión** se calculará a través de:

Para un sistema trifásico a 3 hilos, se tiene que la corriente de la línea $I_L = \sqrt{3} * I$ de fase, en consecuencia:

$$e_f = R * I_L = R * (\sqrt{3} * I) = \sqrt{3} * R * I; \text{ sin embargo ya se indicó que } R = \rho * \frac{L}{S},$$

por lo tanto

$$e_f = \sqrt{3} * (\rho * \frac{L}{S}) * I = \sqrt{3} * (\frac{1}{50} * \frac{L}{S}) * I = \frac{\sqrt{3} * L * I}{50 * S}$$

$$e_f = \frac{\sqrt{3} * L * I}{50 * S}; \text{ caída de tensión entre fases } \dots\dots\dots (2.4.13)$$

Sustituyendo en:

$$e \% = (e_f) * (\frac{100}{E_f}) = (\frac{\sqrt{3} * L * I}{50 * S}) * (\frac{100}{E_f}) = \frac{2 * 50 * \sqrt{3} * L * I}{50 * S * E_f} = \frac{2 * \sqrt{3} * L * I}{S * E_f} \dots\dots\dots (2.4.14)$$

$$S = \frac{2 \cdot \sqrt{3} \cdot L \cdot I}{E_f \cdot e\%}; \text{ pero } E_f = \sqrt{3} \cdot E_n$$

$$S = \frac{2 \cdot \sqrt{3} \cdot L \cdot I}{\sqrt{3} \cdot E_n \cdot e\%} = \frac{2 \cdot L \cdot I}{E_n \cdot e\%} \text{ sección del conductor para la Caída de tensión } e\%$$

O también

$$e\% = \frac{2 \cdot L \cdot I}{E_n \cdot S} \dots\dots\dots(2.4.15)$$

El sistema trifásico a 3 hilos es balanceado, por lo que se considera exactamente la misma corriente por conductor.

2.4.4 Sistema trifásico a cuatro hilos (ver Figura 2.41). (3 fases y Neutro)

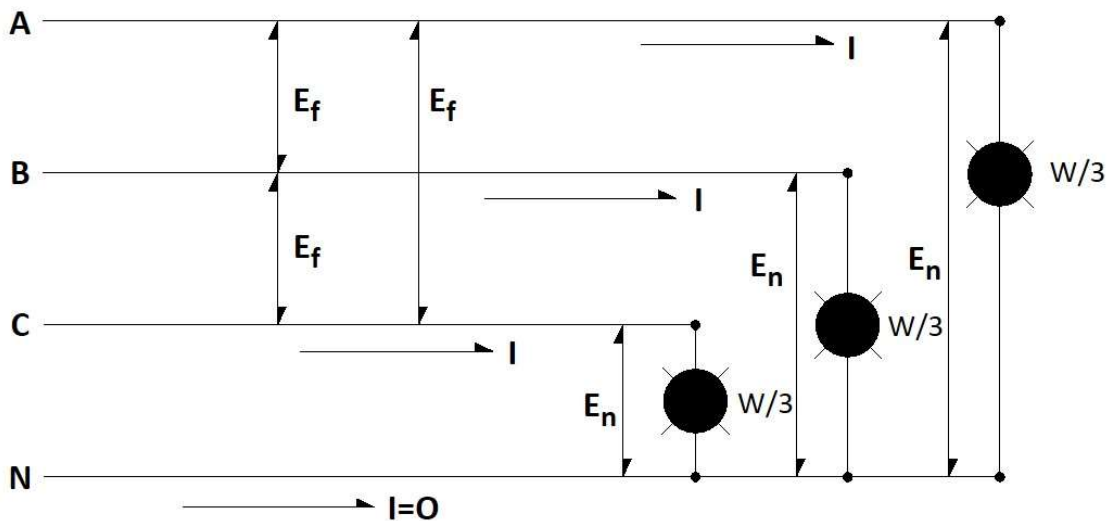


Figura 2.41 Sistema trifásico a cuatro hilos. Becerril L. (2018). Instalaciones Eléctricas Prácticas, pág 122.

Este sistema es utilizado en los siguientes casos:

- 1.- En instalaciones eléctricas de alumbrado y contactos sencillos, cuando todas las cargas parciales son monofásicas y la total instalada es mayor de **8,000.0 W**.
- 2.- Cuando se tienen tanto cargas monofásicas como cargas trifásicas, independientemente del valor de la carga total instalada.

3.- En redes de distribución secundaria a tensiones de 220 V entre fases y 127 V entre fase y neutro.

Tratándose de un sistema trifásico a cuatro hilos (3F – 4H) mismo que se considera 100% balanceado, en el neutro se toma una intensidad de corriente igual con $I_n = 0$, de la figura se desprende que son en realidad 3 sistemas monofásicos a dos hilos.

$$W = 3 * (E_n * I * \cos \varphi) \dots\dots\dots (a)$$

Sí ; $E_n = \frac{220}{\sqrt{3}}$; ó $E_n = \frac{E_f}{\sqrt{3}}$; implica que $E_f = \sqrt{3} * E_n$

Sabiendo que $(3 * E_n) = (\sqrt{3} * E_f)$; Sustituyendo esto último en (a)

$$W = \sqrt{3} * E_f * I * \cos \varphi \dots\dots\dots(2.4.16)$$

El calibre o tamaño del conductor eléctrico **Por corriente**, se calculará aplicando la siguiente ecuación:

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} * E_f * \cos \varphi} \dots\dots\dots(2.4.17)$$

Cuando se tienen cargas de alumbrado y contactos, **motores monofásicos y trifásicos**, en las ecuaciones (2.4.16) y (2.4.17) se debe hacer intervenir la eficiencia η , considerando un máximo valor promedio de $\eta = 0.85$ o menor, el cual estará determinado por las características de las cargas parciales, por lo tanto:

$$W = \sqrt{3} * E_f * I * \cos \varphi * \eta \dots\dots\dots (2.4.16')$$

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} * E_f * \cos \varphi * \eta} \dots\dots\dots(2.4.17')$$

El calibre o tamaño del conductor eléctrico **Por Caída de Tensión** se calculará a través de:

$e_f = \frac{\sqrt{3} * L * I}{50 * S}$; de la fórmula (2.4.13) del sistema 3 fases- 3 hilos

$$e \% = \left(\frac{100}{E_f}\right) * (e_f) = \left(\frac{100}{E_f}\right) * \frac{\sqrt{3} * L * I}{50 * S} = \left(\frac{2 * 50}{E_f}\right) * \frac{\sqrt{3} * L * I}{50 * S} = \frac{2 * \sqrt{3} * L * I}{E_f * S} \dots\dots\dots(2.4.18)$$

Pero; $E_f = \sqrt{3} * E_n$ Por lo tanto:

$$e \% = \frac{2 * \sqrt{3} * L * I}{\sqrt{3} * E_n * S} = \frac{2 * L * I}{E_n * S}$$

Implica que:

$$S = \frac{2 * L * I}{E_n * e \%} \text{ sección del conductor para la caída de tensión } e\% \dots\dots\dots(2.4.19)$$

CAPÍTULO 3. Reingeniería de la Instalación eléctrica

El edificio objeto de este trabajo se compone de cuatro niveles subterráneos, mismos que son utilizados como estacionamientos para automóviles del personal que labora a su interior. Por otra parte, como áreas para albergar al personal administrativo se cuenta con los niveles identificados como Planta Baja, Primer, Segundo, Tercer y Cuarto Niveles.

El mencionado inmueble entró en operación en el mes de enero del año 2013, con una ocupación inicial de 450 personas aproximadamente, destacando que en la entrega de las instalaciones por parte del arrendador a la actual administración no se incluyeron planos del sistema eléctrico en alumbrado y fuerza, por lo que el área responsable de su mantenimiento carecía de ellos.

Adicional a lo anterior, en el segundo trimestre del año 2015 la plantilla ocupacional se incrementó considerablemente, pasando de 450 personas a 850 aproximadamente, lo que obligó a dotar a estos usuarios de nuevas oficinas y/o estaciones de trabajo con el consecuente incremento en el consumo de energía eléctrica en sus rubros de alumbrado, contactos con corriente normal, corriente regulada, voz y datos, derivando en el incremento del costo de facturación por este concepto.

A fin de satisfacer la demanda de energía eléctrica por crecimiento en número del personal administrativo, los técnicos de mantenimiento al carecer de planos eléctricos realizaron conexiones eléctricas sin mediar una cuidadosa planeación, análisis ni cálculo

alguno, ocasionando circuitos con conductores sobrecargados y tableros de alumbrado, de contactos de corriente normal y contactos de corriente regulada desbalanceados.

Dada esta condición, personal de la Secretaría del Trabajo, Protección Civil y los propios directivos que ocupan el edificio gubernamental, emitieron recomendaciones sobre la necesidad de realizar la reingeniería del sistema eléctrico en todas sus fases, consistente en la revisión y rediseño radical del sistema eléctrico actual, a fin de que estén bajo las disposiciones de la Norma **NOM 001-SEDE 2012** y en consecuencia ofrezcan condiciones de seguridad al personal y equipo al interior del inmueble, así como contar con el diagrama unifilar de sus instalaciones eléctricas, planos de alumbrado, contactos normales y corriente regulada con circuitos sin condiciones de sobrecarga y tableros balanceados en su carga.

3.1 Diagramas Unifilares

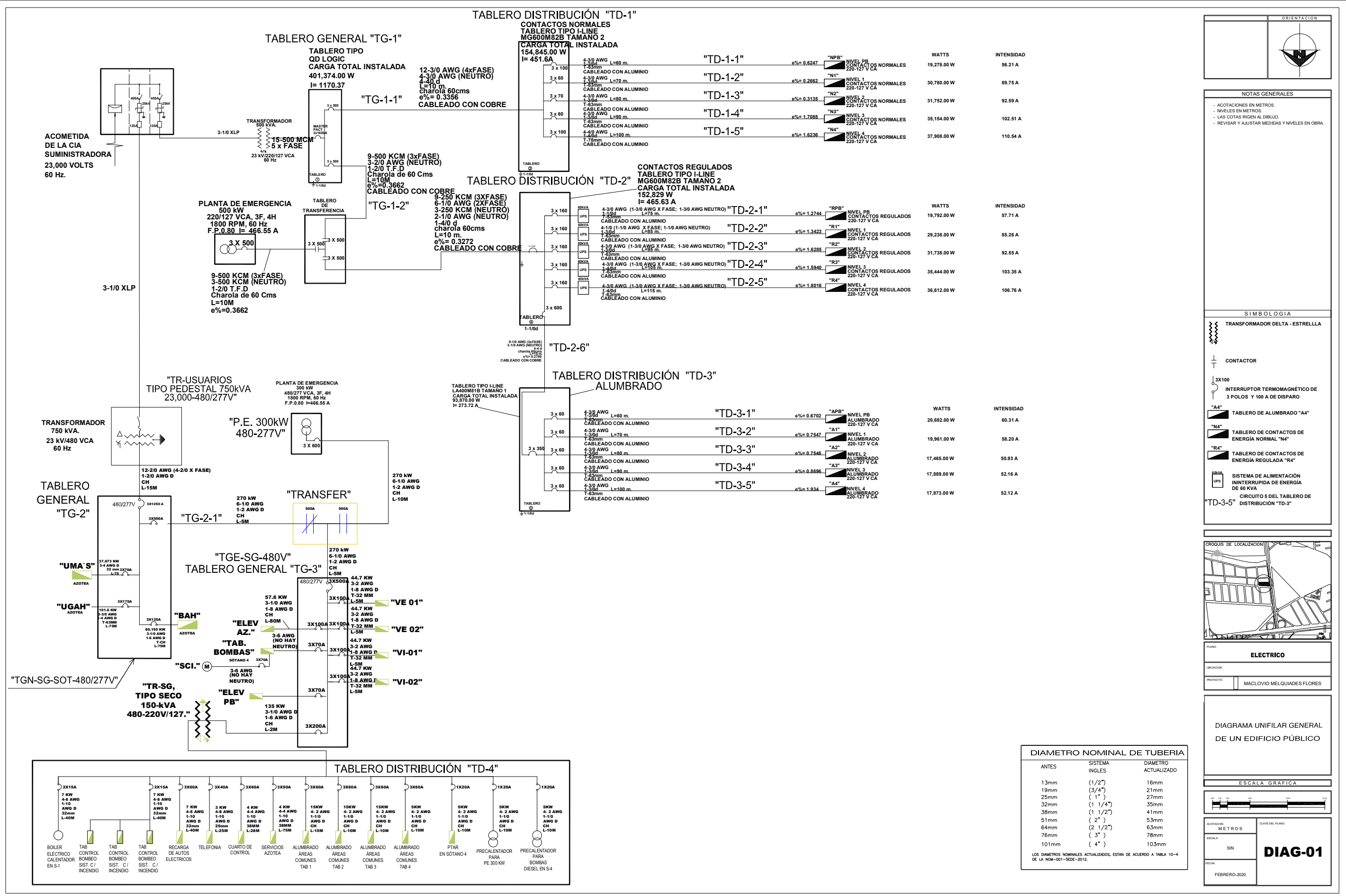
Cabe señalar que el diagrama unifilar de un sistema eléctrico muestra cómo es distribuida la potencia desde la acometida hasta el último equipo de utilización.

Así mismo y dado el crecimiento frecuente de la plantilla de personal y en consecuencia de la demanda de carga eléctrica, para los directivos y para el personal de mantenimiento era de vital importancia contar con el diagrama unifilar general del sistema eléctrico de este inmueble, para que de manera planificada y atendiendo las disposiciones de la **NOM 001-SEDE 2012** incorporar al sistema eléctrico las nuevas cargas.

Para elaborar el diagrama unifilar definitivo fue necesario hacer un levantamiento físico de las condiciones actuales del sistema eléctrico, desde la acometida, los transformadores, tableros generales, circuitos alimentadores principales, tableros de distribución de alumbrado, contactos de corriente normal y contactos de corriente regulada, tamaño o calibre de conductores de circuitos derivados, capacidad de interruptores termomagnéticos y la carga conectada.

Los diagramas unifilares correspondientes se muestran en el inciso 3.1

3.1 Diagramas unifilares



ORIENTACION

NOTAS GENERALES

- ACOTACIONES EN METROS.
- NIVELES EN METROS.
- LAS COTAS RIGEN AL DIBUJO.
- REVISAR Y AJUSTAR MEDIDAS Y NIVELES EN OBRA.

SIMBOLOGIA

- TRANSFORMADOR DELTA - ESTRELLA
- CONTACTOR
- INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DE 3 POLOS Y 100 A DE DISPARO
- TABLERO DE ALUMBRADO "A4"
- TABLERO DE CONTACTOS DE ENERGIA NORMAL "N4"
- TABLERO DE CONTACTOS DE ENERGIA REGULADA "R4"
- SISTEMA DE ALIMENTACION ININTERRUMPIDA DE ENERGIA DE 50 KVA
- CIRCUITO 5 DEL TABLERO DE "TD-3-5" DISTRIBUCION "TD-3"

CRUCIOS DE LOCALIZACION

ELECTRICO

MACLOVIO MELQUIADES FLORES

DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL DE UN EDIFICIO PÚBLICO

ESCALA GRAFICA

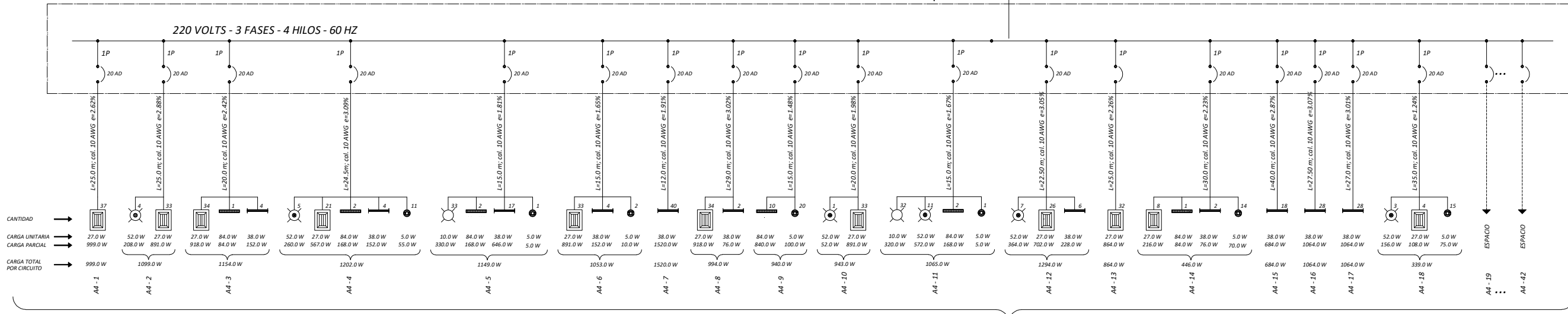
DIAG-01

FEBRERO-2020

A TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE ALUMBRADO "TD-3" EN SÓTANO 1

TABLERO DE ALUMBRADO

TIPO INTERIOR DE SOBREPONER "A4"



NÚMERO DE CIRCUITOS
17,873.00 Watts.

SIMBOLOGÍA

SIMBOLOGÍA

A4-12 INDICA CIRCUITO NO. 12 DEL TABLERO DE ALUMBRADO "A4"

LUMINARIA EMPOTRAR EN PLAFÓN, DOWNLIGH, CIRCULAR DE 7.5 CM DE DIÁMETRO, FIJO, CON SISTEMA TRIMLES Y LÁMPARA LIGH EMITTING DIODE (LED) DE 10 W, CRI 80, 2700 °K, PARA OPERAR A 127 V/60HZ.

LUMINARIA EMPOTRAR EN PLAFÓN, DOWNLIGH, CIRCULAR DE 10 CM DE DIÁMETRO, FIJO, CON SISTEMA TRIMLES Y LÁMPARA FLOURESCENTE DE 50 W (52 W CONSIDERANDO LAS PÉRDIDAS EN EL BALASTRO), PARA OPERAR A 127 V/60HZ.

TD-3-5 INDICA CIRCUITO No. 5 DEL TABLERO DE DISTRIBUCION TD-3

LUMINARIA KROMOS DE 60 X 60 CM, TIPO EMPOTRAR EN PLAFÓN, PARA ALOJAR 3 LÁMPARAS LED DE 9 W (27 W TOTALES), 400 °K, FLUJO LUMINOSO DE 2400 LÚMENES TOTALES, PARA OPERAR A 127-220 V/60HZ.

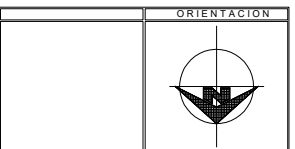
LUMINARIA LINEAL CON GABINETE TIPO COLGANTE, EMISIÓN DIRECTA DE 2.44 M, PARA ALOJAR DOS LÁMPARAS FLUORESCENTES TIPO T-5, DE 39 W CADA UNA (84 W TOTALES, CONSIDERANDO LAS PÉRDIDAS EN BALASTRO), 840 ND, PARA OPERAR A 127 V/60 HZ.

LUMINARIA LINEAL TIPO CANALETA, EMISIÓN DIRECTA DE 1.22 M, PARA ALOJAR UNA LÁMPARA FLUORESCENTE TIPO T-5, DE 38 W, 840 ND, PARA OPERAR A 127 V/60 HZ.

LUMINARIA TIPO DOWNLIGH, CIRCULAR, FIJO, CON SISTEMA DE EMPOTRE EN PLAFÓN, TIPO PINHOLE, CON LÁMPARA LIGH EMITING DIODE (LED) DE 5W, CRI 80, 2700 °K, PARA OPERAR A 127 V/60HZ.

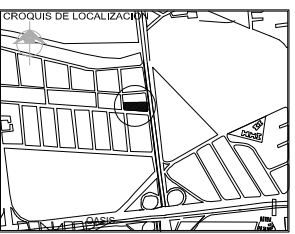
DIAMETRO NOMINAL DE TUBERIA		
ANTES	SISTEMA INGLÉS	DIAMETRO ACTUALIZADO
13mm	(1/2")	16mm
19mm	(3/4")	21mm
25mm	(1")	27mm
32mm	(1 1/4")	35mm
38mm	(1 1/2")	41mm
51mm	(2")	53mm
64mm	(2 1/2")	63mm
76mm	(3")	78mm
101mm	(4")	103mm

LOS DIAMETROS NOMINALES ACTUALIZADOS, ESTAN DE ACUERDO A TABLA 10-4 DE LA NOM-001-SEDE-2012.



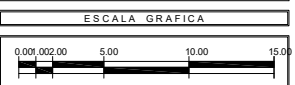
NOTAS GENERALES

- 1- LOS CONDUCTORES EMPLEADOS SERAN DE COBRE CON AISLAMIENTO PARA 600 V.C.A. A 75°C. DEL TIPO THWLS, MCA, CONDUMEX O SIMILAR.
- 2- EL CONDUCTOR NEUTRO DEL SISTEMA DEBERÁ CONECTARSE A TIERRA ÚNICAMENTE EN EL LADO SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR (500 KVA) DE ALIMENTACIÓN, Y LAS PARTES METÁLICAS NO CONDUCTORAS DE INSTALACIÓN, DEBERÁN CONECTARSE A TIERRA.
- 3- TODA LA INSTALACIÓN SE EFECTUARÁ A BASE DE TUBERÍA CONDUIT GALVANIZADA PARED DELGADA.
- 4- LOS MATERIALES, EQUIPOS Y ACCESORIOS EMPLEADOS SERÁN NUEVOS.
- 5- EN TRAMOS RECTOS LA TUBERÍA CONDUIT DEBE CONTAR CON REGISTROS DE PASO A INTERVALOS NO MAYORES DE 20m COMO MÁXIMO O DESPUES DE DOS CAMBIOS DE DIRECCIÓN.
- 6- LA UBICACIÓN EXACTA DE CANALIZACIONES Y EQUIPOS SE FLUJARÁ EN CAMPO EN COORDINACIÓN CON LA DIRECCIÓN GENERAL DE OBRA.
- 7- EL CONTRATISTA ELÉCTRICO DEBERÁ REALIZAR LOS PASOS NECESARIOS EN PISOS, LOSAS, MUROS Y PLAFÓN PARA SUS INSTALACIONES REQUERIDAS, PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE OBRA.
- 8- LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA DEBERÁ APEGARSE A LA NOM-001-SEDE-2012.
- 9- EL CONTRATISTA ELÉCTRICO DEBERÁ ENTREGAR UN JUEGO DE PLANOS ACTUALIZADOS AL TERMINAR LA OBRA.



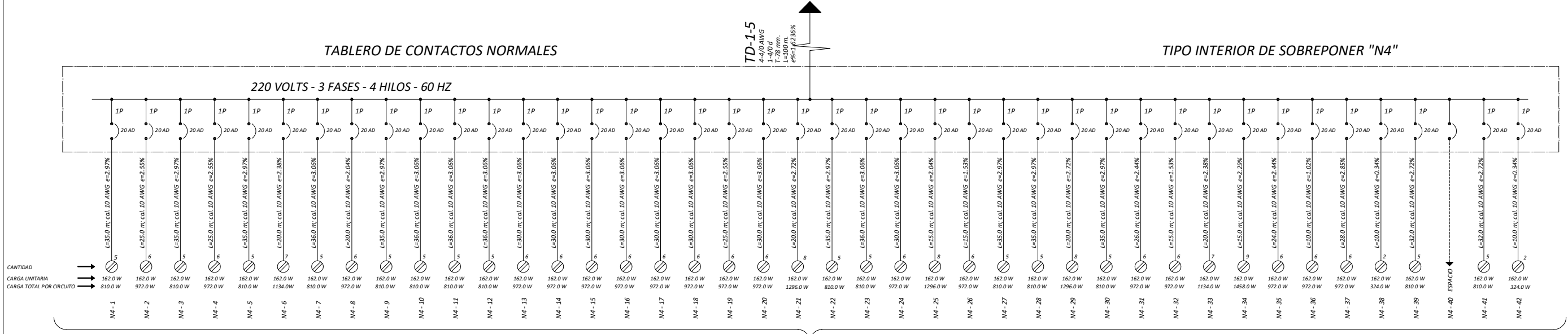
PLANO: ELÉCTRICO
UBICACIÓN:
PROYECTO: MACLOVIO MELQUIADES FLORES

DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO DE ALUMBRADO "A4" DE UN EDIFICIO PÚBLICO



ACOTACION: METROS
ESCALA: SIN
FECHA: FEBRERO-2020
CLAVE DEL PLANO: DIAG-A4

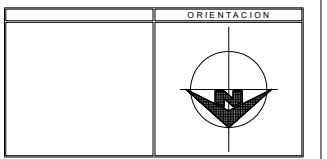
A TABLERO DE DISTRIBUCIÓN "TD - 1" EN SÓTANO 1



NÚMERO DE CIRCUITOS
37,908.00 Watts.

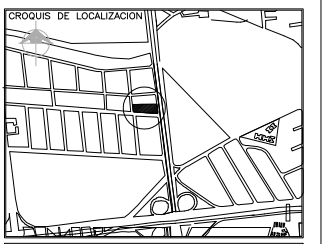
DIAMETRO NOMINAL DE TUBERIA		
ANTES	SISTEMA INGLÉS	DIAMETRO ACTUALIZADO
13mm	(1/2")	16mm
19mm	(3/4")	21mm
25mm	(1")	27mm
32mm	(1 1/4")	35mm
38mm	(1 1/2")	41mm
51mm	(2")	53mm
64mm	(2 1/2")	63mm
76mm	(3")	78mm
101mm	(4")	103mm

LOS DIAMETROS NOMINALES ACTUALIZADOS, ESTAN DE ACUERDO A TABLA 10-4 DE LA NOM-001-SEDE-2012.



- NOTAS GENERALES**
- 1.- LOS CONDUCTORES EMPLEADOS SERAN DE COBRE CON AISLAMIENTO PARA 600 V.C.A. A 75°C. DEL TIPO THW-L.S. MCA. CONUMEX O SIMILAR.
 - 2.- EL CONDUCTOR NEUTRO DEL SISTEMA DEBERA CONECTARSE A TIERRA UNICAMENTE EN EL LADO SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR (500 KVA) DE ALIMENTACION. Y LAS PARTES METALICAS NO CONDUCTORAS DE INSTALACION, DEBERAN CONECTARSE A TIERRA.
 - 3.- TODA LA INSTALACION SE EFECTUARA A BASE DE TUBERIA CONDUIT GALVANIZADA PARED DELGADA.
 - 4.- LOS MATERIALES, EQUIPOS Y ACCESORIOS EMPLEADOS SERAN NUEVOS.
 - 5.- EN TRAMOS RECTOS LA TUBERIA CONDUIT DEBE CONTAR CON REGISTROS DE PASO A INTERVALOS NO MAYORES DE 20m COMO MÁXIMO O DESPUES DE DOS CAMBIOS DE DIRECCION.
 - 6.- LA UBICACION EXACTA DE CANALIZACIONES Y EQUIPOS SE FIJARA EN CAMPO EN COORDINACION CON LA DIRECCION GENERAL DE OBRA.
 - 7.- EL CONTRATISTA ELECTRICO DEBERA REALIZAR LOS PASOS NECESARIOS EN PISOS, MUROS Y PLAFON PARA SUS INSTALACIONES REQUERIDAS, PREVIA AUTORIZACION DE LA DIRECCION GENERAL DE OBRA.
 - 8.- LA EJECUCION DE LOS TRABAJOS DE INSTALACION ELECTRICA DEBERA APEGARSE A LA NOM-001-SEDE-2012.
 - 9.- EL CONTRATISTA ELECTRICO DEBERA ENTREGAR UN JUEGO DE PLANOS ACTUALIZADOS AL TERMINAR LA OBRA.

- SIMBOLOGIA**
- TD-1-5 INDICA CIRCUITO No. 5 DEL TABLERO DE DISTRIBUCION TD-1
CONTACTO DUPLEX ENERGIA NORMAL 127 VCA.
 - N4-26 INDICA CIRCUITO No. 26 DEL TABLERO DE CONTACTOS NORMALES "N4"
INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DE UN POLO Y 20 A DE DISPARO



PLANO: **ELECTRICO**

UBICACION:

PROYECTO: MACLOVIO MELQUIADES FLORES

DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO DE CONTACTOS NORMALES "N4" DE UN EDIFICIO PÚBLICO

ESCALA GRAFICA

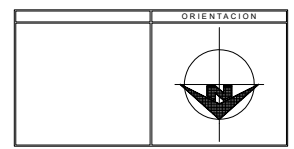
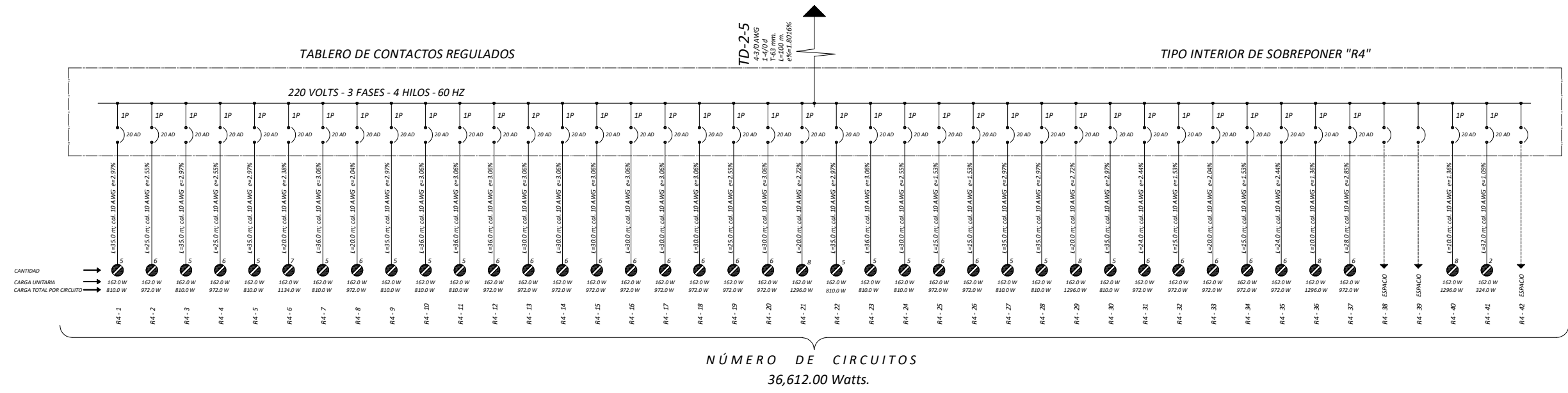
ACOTACION: CLAVE DEL PLANO

ESCALA:

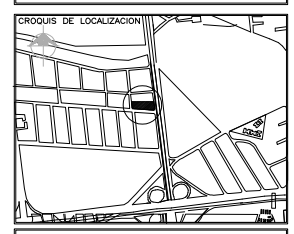
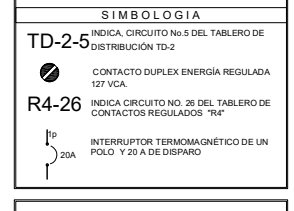
FECHA: FEBRERO-2020

DIAG-N4

A TABLERO DE DISTRIBUCIÓN "TD - 2" EN SÓTANO 1



- NOTAS GENERALES**
- 1.- LOS CONDUCTORES EMPLEADOS SERAN DE COBRE CON AISLAMIENTO PARA 600 V.C.A. A 75°C. DEL TIPO THW-L5, MCA, CONDUMEX O SIMILAR.
 - 2.- EL CONDUCTOR NEUTRO DEL SISTEMA DEBERA CONECTARSE A TIERRA ÚNICAMENTE EN EL LADO SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR (500 KVA) DE ALIMENTACIÓN, Y LAS PARTES METÁLICAS NO CONDUCTORAS DE INSTALACIÓN, DEBERÁN CONECTARSE A TIERRA.
 - 3.- TODA LA INSTALACIÓN SE EFECTUARÁ A BASE DE TUBERÍA CONDUIT GALVANIZADA PARED DELGADA.
 - 4.- LOS MATERIALES, EQUIPOS Y ACCESORIOS EMPLEADOS SERÁN NUEVOS.
 - 5.- EN TRAMOS RECTOS LA TUBERÍA CONDUIT DEBE CONTAR CON REGISTROS DE PASO A INTERVALOS NO MAYORES DE 20m COMO MÁXIMO O DESPUÉS DE DOS CAMBIOS DE DIRECCIÓN.
 - 6.- LA UBICACIÓN EXACTA DE CANALIZACIONES Y EQUIPOS SE FIJARÁ EN CAMPO EN COORDINACIÓN CON LA DIRECCIÓN GENERAL DE OBRA.
 - 7.- EL CONTRATISTA ELÉCTRICO DEBERÁ REALIZAR LOS PASOS NECESARIOS EN PISOS, LOSAS, MURDOS Y PLAFÓN PARA SUS INSTALACIONES REQUERIDAS, PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE OBRA.
 - 8.- LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA DEBERÁ APEGARSE A LA NCM-001-SEDE-2012.
 - 9.- EL CONTRATISTA ELÉCTRICO DEBERÁ ENTREGAR UN JUEGO DE PLANOS ACTUALIZADOS AL TERMINAR LA OBRA.



PLANO: **ELECTRICO**

UBICACION:

PROYECTO: **MACLOVIO MELQUIADES FLORES**

DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO DE CONTACTOS REGULADOS "R4" DE UN EDIFICIO PÚBLICO



AGITADOR: **MÉTROS**

ESCALA: **SIN**

FECHA: **FEBRERO-2020**

DIAG-R4

DIAMETRO NOMINAL DE TUBERIA

ANTES	SISTEMA INGLÉS	DIAMETRO ACTUALIZADO
13mm	(1/2")	16mm
19mm	(3/4")	21mm
25mm	(1")	27mm
32mm	(1 1/4")	35mm
38mm	(1 1/2")	41mm
51mm	(2")	53mm
64mm	(2 1/2")	63mm
76mm	(3")	78mm
101mm	(4")	103mm

LOS DIAMETROS NOMINALES ACTUALIZADOS, ESTAN DE ACUERDO A TABLA 10-4 DE LA NCM-001-SEDE-2012.

3.2 Sistema de Alumbrado Modular y pasillos

Los pisos de las áreas administrativas integradas por las oficinas o privados y áreas comunes contaban con iluminación con base en lámparas fluorescentes tecnología T-5 de 14 W, en luminarias de 60 x 60 cm para alojar a tres lámparas (es decir 45 W por luminaria, considerando las pérdidas en el balastro electrónico).

Debido a la habilitación de áreas de trabajo por el ingreso creciente de personal administrativo, la distribución de luminarias no respetó una forma equidistante ni uniforme, generando zonas con intensidades lumínicas excesivas y otras con penumbras notables, ocasionando poco confort visual. Adicional a lo expuesto, tampoco la carga era equitativa por circuito ni por fases, derivando en conductores en condiciones de sobrecarga y tableros desbalanceados.

Bajo esta realidad y dado que el sistema de alumbrado en los cinco pisos de referencia permanece encendido, en horario de 7:00 hrs. hasta las 23:00 hrs. (en días hábiles de lunes a viernes) y días sábados de las 8:00 hrs. a las 15: hrs., el nuevo personal directivo dio la instrucción de desarrollar un proyecto ejecutivo para la sustitución del sistema de alumbrado fluorescente por lámparas tecnología LED (Diodo Emisor de Luz), respetando los niveles de iluminación recomendados por la Secretaría de Trabajo, circuitos sin sobrecarga, tableros balanceados y respetando las disposiciones de la NOM 001-SEDE 2012 y considerando, además, el ahorro de energía.

Cabe señalar que las lámparas que integraban el anterior sistema de alumbrado eran fluorescentes con luz “blanco cálido”, por lo que su temperatura de color estaba entre los 2,700 °K y 3,000 °K., siendo ésta propia para ambientes de descanso y no para oficinas, ya que según los fabricantes esta temperatura de color produce tranquilidad y relajación, recomendables para estancias, recámaras y comedores.

En cambio, las lámparas que producen luz “blanco frío” su temperatura de color está entre los 5,000 °K y 6,500 °K y generan ambientes de actividad y dinamismo, siendo propias para oficinas, escaleras, baños y supermercados, adicional a que incrementan el confort visual de los usuarios.

Las ventajas de la iluminación con base en tecnología LED es que son más eficientes que las fluorescentes lo que significa un ahorro de energía, tienen una duración de hasta **100,000 hrs** (aproximadamente 10 veces más que las fluorescentes), no producen calor, no emiten radiación **UV** ni **mercurio** como las fluorescentes, por lo que no contaminan y son completamente reciclables.

Dadas las ventajas expuestas y con el propósito de reducir el consumo de energía eléctrica y reducir la facturación por concepto de iluminación al interior de este inmueble, desarrollé el proyecto ejecutivo correspondiente.

3.2.1 Cálculo de iluminación general al interior del edificio gubernamental por el método de los lúmenes.

Cabe señalar que, para el cálculo de iluminación general en instalaciones interiores, se pueden utilizar los siguientes dos métodos.

1.- Método de los Lúmenes, también denominado **Sistema General** o **Método del Factor de Utilización**. Este método normalmente se utiliza para calcular el nivel medio de la iluminación en una instalación de alumbrado general y uniforme de un determinado espacio, proporciona una iluminancia media con un error de $\pm 5\%$. Una vez establecida una zona o local, mediante este método, se podrá saber la cantidad de luminarias necesarias y cómo han de estar situadas en ese espacio.

2.- Método del Punto por Punto (o de iluminancias puntuales). Este Método se utiliza si lo que se desea es conocer los valores de la iluminancia en puntos concretos.

Sin embargo, como ya se dijo, para el presente trabajo se recurrió al método de los lúmenes, para lo cual se debe tomar en cuenta lo expuesto en los incisos a) y b) siguientes.

a) Cálculo del flujo luminoso total necesario (Φ_T)

El flujo luminoso que un determinado local o zona necesita se calcula a través de la siguiente ecuación.

$$\Phi_T = \frac{E_m * S}{C_u * C_m} \dots \dots \dots (3.2.1)$$

Donde:

Φ_T = Flujo luminoso total necesario en la zona o local

E_m = Nivel de iluminación medio (en LUX)

S = Superficie a iluminar

El **flujo luminoso** Φ_T se ve afectado por el coeficiente de utilización C_u y el coeficiente de mantenimiento C_m , definidos como:

C_u = Es la relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por la fuente luminosa. Normalmente lo proporciona el fabricante de la luminaria.

C_m = Es el cociente que indica el grado de conservación de una luminaria.

b) Cálculo del número de luminarias (N_L)

$$N_L = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} \dots \dots \dots (3.2.2)$$

Donde:

N_L = Número de luminarias.

Φ_T = Flujo luminoso total necesario en la zona o local.

Φ_L = Flujo luminoso de una lámpara (se toma del catálogo del fabricante).

n = Número de lámparas que tiene la luminaria.

Para el cálculo de iluminación de una zona o local prestablecidos, se recomienda seguir los siguientes pasos:

1- **Cálculo del flujo luminoso total necesario (Φ_T).**

1.1. **Para ello, es necesario fijar los datos del local, lámparas y luminarias.**

- a) Dimensiones del local (**largo, ancho y alto**).
- b) Altura del plano de trabajo (**h'**).
- c) Nivel de iluminancia media (**E_m**).
- d) Elección del tipo de lámpara.
- e) Elección del tipo de **luminaria** (de acuerdo a catálogos comerciales) y altura de suspensión. La **luminaria** controla el flujo luminoso emitido por la fuente y, en su caso, evita o minimiza el **deslumbramiento**.

1.2. **Determinar el coeficiente de utilización (C_u).** Lo anterior según datos del fabricante de la luminaria, de los “**coeficientes de reflexión**” y el índice de cuarto o local (**K**).

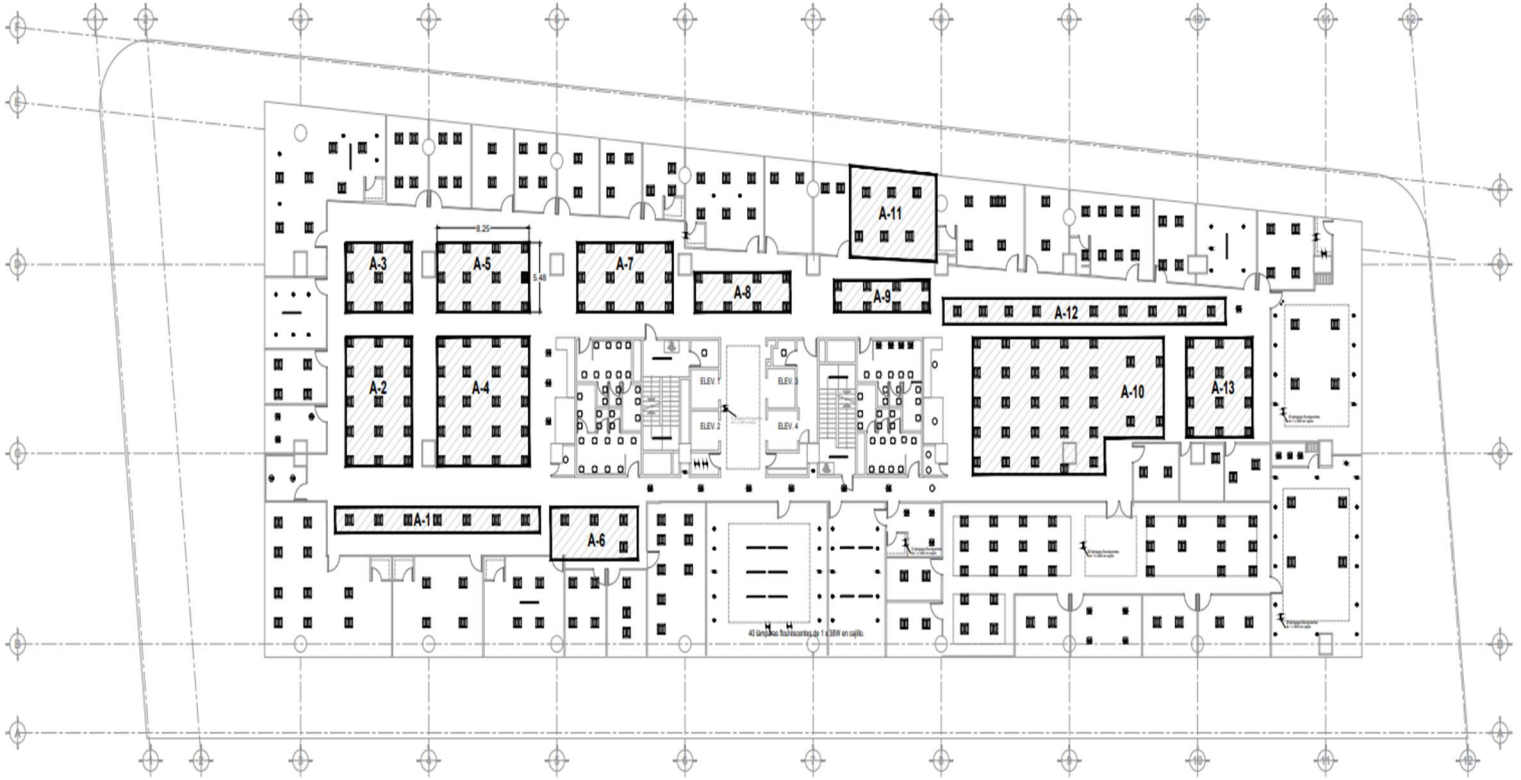
1.3. **Determinar el coeficiente de mantenimiento (C_m),** según tipo de local.

2- **Determinar el número de luminarias (N_L)**

3- **Determinar el emplazamiento de las luminarias.**

4- **Comprobación de los resultados en niveles de iluminación del local.**

A manera de ejemplo iniciaremos con el Cálculo del flujo luminoso total necesario (Φ_T), para el área identificada como A.5. en la siguiente planta arquitectónica.



AREA	CLAVE DE AREA	No. DE LUMINARIAS
PASILLO	A-1	7 LUMINARIAS
ESTACIONES DE TRABAJO	A-2	15 LUMINARIAS
ESTACIONES DE TRABAJO	A-3	9 LUMINARIAS
ESTACIONES DE TRABAJO	A-4	20 LUMINARIAS
ESTACIONES DE TRABAJO	A-5	12 LUMINARIAS
ESTACIONES DE TRABAJO	A-6	4 LUMINARIAS
ESTACIONES DE TRABAJO	A-7	12 LUMINARIAS
ESTACIONES DE TRABAJO	A-8	8 LUMINARIAS
ESTACIONES DE TRABAJO	A-9	8 LUMINARIAS
ESTACIONES DE TRABAJO	A-10	29 LUMINARIAS
OFICINA	A-11	6 LUMINARIAS
ESTACIONES DE TRABAJO	A-12	9 LUMINARIAS
ESTACIONES DE TRABAJO	A-13	12 LUMINARIAS

Cuando se quiere averiguar el flujo luminoso que se necesita que aporten las lámparas que se van a colocar, es importante que antes, se analice el tipo de local que se pretende iluminar. **Su forma y sus acabados** influyen notoriamente en cómo se **reflexiona la luz** en ese determinado espacio, ver Figura 3.1.

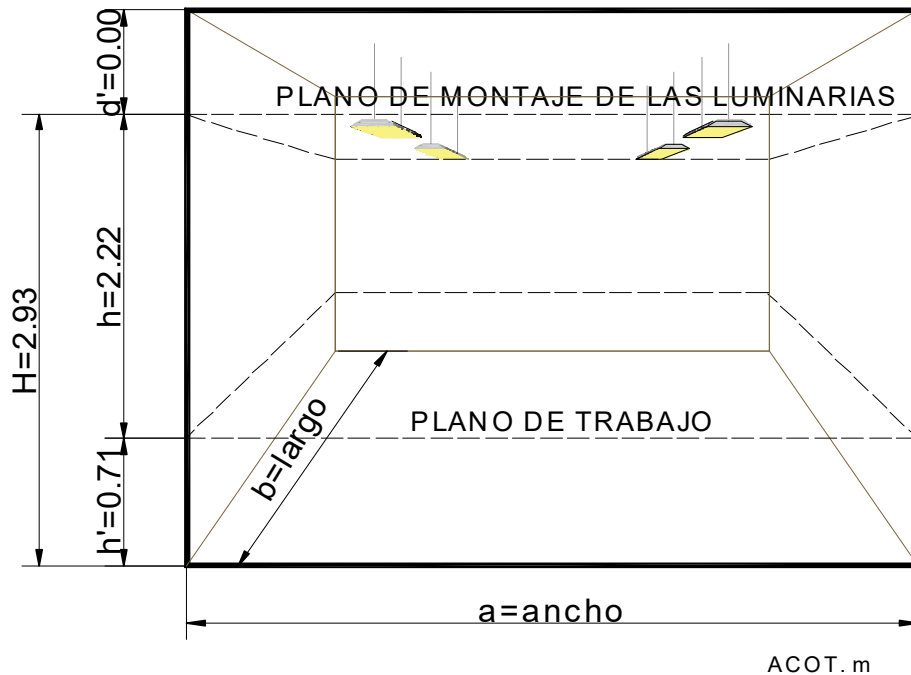


Figura 3.1 Características geométricas del local

1.1 Datos de entrada (del local, lámparas y luminarias)

1.1.1. Dimensiones del local o zona a iluminar

a = ancho = 8.25 m

b = largo = 5.48 m

S = superficie a iluminar = a * b = 45.21 m²

H = altura del local = 2.93 m

h' = altura del plano de trabajo al suelo = 0.71 m

d' = altura entre el plano de las luminarias y el techo = 0.0 m

h = altura entre el plano de trabajo y el plano de montaje de las luminarias = 2.22 m

1.1.2. Fijando la altura del plano de trabajo (h')

La altura del plano de trabajo dependerá siempre del tipo de actividad que se realizará en la zona determinada. La actividad del local objeto de este cálculo es de oficinas, en las que el personal directivo y operativo tendrán

como mesas de trabajo escritorios. La altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo es de **0.71 m**.

Se precisa que es en el plano de trabajo donde se tiene que verificar si se cumple con los niveles adecuados de iluminación. En casos como pasillos, vestíbulos, halls, etc. se considera que la altura del plano de trabajo es de 0.0 m.

- 1.1.3. El nivel de iluminancia media (E_m) que ha de tener el local depende del tipo de actividad que se va a realizar en el mismo.

Los valores del nivel de iluminancia media se pueden encontrar tabulados en la Norma Oficial Mexicana **NOM 025-STPS-2008 “Condiciones de Iluminación en los Centros de Trabajo”** de la Secretaría del Trabajo.

Dicha normativa contempla las obligaciones que tiene la empresa o el patrón respecto a las condiciones de iluminación óptimas de los centros de trabajo, la cual busca controlar que exista una correcta iluminación en los centros laborales para un correcto desempeño de las funciones de cada trabajador, en un ambiente seguro y saludable.

En la **Tabla 3.1** de dicha Norma identificada como **Niveles de Iluminación** se establecen los niveles mínimos de iluminación que deben incidir en el plano de trabajo, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo, de la que se desprende que:

Tabla 3.1.- Niveles de iluminación de la NOM 025-STPS-2008

Tarea visual del puesto de trabajo	Área de trabajo	Nivel mínimo de iluminación (LUXES)
Trabajo de Oficina	Aulas y Oficinas	300 Lx

- 1.1.4. **Identificando el tipo de lámpara a utilizar.**

Se elige una lámpara LED (Diodo Emisor de Luz), de **9 W** porque tiene una aceptable reproducción de color y es más eficiente, energéticamente hablando, que las fluorescentes T-5, con un flujo luminoso de **800 Lúmenes** por lámpara.

- 1.1.5. **Identificando el tipo de luminario a utilizar.**

Cabe recordar que cada luminaria, según como esté fabricada, modifica el flujo de la lámpara que lleva dentro. La luminaria que se elige es la Modelo KROMOS LED de 60 x 60 cm, tipo empotrar, con tensión de operación a

127-220 VCA \pm 10%, 4000 °K, consumo de potencia 3 x 9 W = 27 W totales, a 60 Hz, con consumo de corriente 0.36 A. El flujo luminoso de las **3 lámparas** en cada luminaria es de **3 x 800 Lm = 2,400 Lúmenes**.

1.1.6. Determinando la altura de suspensión a la que van a colocarse las luminarias.

Para locales de altura normal, la altura de suspensión de las luminarias será la que resulte de colocar las luminarias lo más alto posible.

Tabla 3.2.- Altura de montaje de luminarias en locales de altura normal

Locales de altura normal	Altura de montaje de luminarias
Oficinas, viviendas, aulas, etc.	Lo más altas posibles

Sin embargo, para locales de altura elevada, si se quiere determinar la altura de suspensión se puede utilizar la siguiente tabla:

Tabla 3.3.- Altura de suspensión de las luminarias en locales de altura elevada

Locales	Mínimo	Óptimo
Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa	$h = \frac{2}{3} (H-h')$	$h = \frac{4}{5} (H-h')$
Locales con iluminación indirecta	$h = \frac{1}{5} (H-h')$	$h = \frac{3}{4} (H-h')$

Toda vez que el local que nos ocupa es de altura normal, las luminarias se colocarán lo más altas posible (empotradas en el techo)

1.2 Cálculo del coeficiente de Utilización (C_u).

El **Coficiente de Utilización** nos indica la relación entre el número de lúmenes emitidos por la lámpara y los que llegan efectivamente al plano ideal de trabajo, los fabricantes de luminarias proporcionan para cada modelo unas tablas, que son las denominadas **Tablas del Factor de Utilización**. Este coeficiente será tanto más grande, cuanto mayor sean **los coeficientes de reflexión, mayores la altura y longitud y menor la altura del plano de trabajo**. También, lógicamente, influirá si el alumbrado es directo o no, pues una distribución concentrada dirigirá la luz unitariamente hacia abajo, originando que una menor proporción de la luz incida en las paredes y techos, obteniendo así una considerable mejora en el rendimiento de las instalaciones.

El **Coficiente de Utilización**, por tanto, se encuentra tabulado y es un dato que lo debe facilitar el fabricante, **Tabla 3.4**.

Tabla 3.4.- Coeficiente de utilización de la luminaria **MAGG- KROMOS 60X60 cm**

Coeficientes de Reflexión en:		Coefficients of Utilization - Zonal Cavity Method																	
PISO	→	pfc = 0.20																	
TECHO	→	ppc																	
PARED	→	pw																	
INDICE/CUARTO	RCR=K	0.8			0.7			0.5			0.3			0.1			0		
	0	110	110	110	110	107	107	107	107	103	103	103	98	98	98	94	94	94	92
	1	101	96	93	87	98	94	91	86	90	87	84	87	84	81	79	79	79	78
	2	91	84	78	70	89	82	76	69	79	74	68	76	72	67	65	65	65	65
	3	83	74	66	57	81	72	65	57	69	63	56	67	62	55	55	55	55	54
	4	76	65	57	48	74	64	56	48	62	55	47	59	54	47	47	47	47	46
	5	70	58	50	41	68	57	49	41	55	48	41	53	47	40	40	40	40	40
	6	65	52	44	36	63	51	44	36	50	43	35	48	42	35	35	35	35	35
	7	60	47	39	31	58	47	39	31	45	38	31	44	38	31	31	31	31	31
	8	56	43	35	28	54	43	35	28	41	35	28	40	34	28	28	28	28	27
	9	52	40	32	25	51	39	32	25	38	31	25	37	31	25	25	25	25	25
	10	49	37	29	23	48	36	29	22	35	29	22	34	28	22	22	22	22	22

COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN DE LUNINARIA MAGG -"KROMOS" 60X60 cm (C.U.)

En esas tablas encontraremos, para cada tipo de luminaria, los factores de iluminación en función de los **Coeficientes de Reflexión** y el **Índice del Local K**. Si no se pudieran obtener los factores por lectura directa en la tabla será necesario interpolar valores. Antes de deducir el **Coeficiente de Utilización**, se tiene que averiguar el **Índice del Local K** y los **coeficientes de reflexión** de las superficies del local.

Cálculo del Índice del Local K

El índice del local (**K**) se averigua a partir de la geometría del propio local

Tabla 3.5.- Cálculo del índice del local

Sistema de Iluminación	Índice de Local K
Iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a*b}{h*(a+b)} \dots \dots \dots (3.2.3)$
Iluminación indirecta y semiindirecta	$k = \frac{3*a*b}{2*(h+h')*(a+b)}$

Por el tipo de luminaria, se puede advertir que dará una iluminación directa (hacia abajo). Por lo que sustituyendo los valores del local en la ecuación **3.2.3**:

$$k = \frac{a*b}{h*(a+b)} = \frac{5.48 \text{ m} * 8.25 \text{ m}}{2.22 \text{ m} * (8.25 \text{ m} + 5.48 \text{ m})} = \frac{45.21 \text{ m}^2}{30.4806 \text{ m}^2} = \underline{1.48}$$

a. **Determinación de los Coeficientes de Reflexión**

La **reflexión** de la luz depende del tipo de material o superficie en el que incide, por tanto, no es lo mismo que los acabados del local sean de un material u otro en cuanto a la luz se refiere. Los **coeficientes de reflexión** del **techo**, **paredes** y **suelo** se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado. Por lo que para efecto de nuestros cálculos se adoptarán los siguientes:

Tabla 3.6.- Coeficientes de Reflexión

Material/Acabado	Coeficiente de Reflexión
Piso con alfombra uso rudo, color gris oscuro	0.2
Techo a base de falso plafón color blanco	0.7
Pared a de tablaroca, acabado con pintura blanca y cancelería de aluminio blanco mate y cristales templados color claro.	0.5

Toda vez que ya ha sido calculado el Índice del local **K = 1.48** y definido los **Coeficientes de Reflexión** de las superficies del local, ya es posible averiguar el Coeficiente de Utilización (C_u) en la **Tabla 3.4**.

La lectura directa no es posible, así que se tiene que interpolar.

$$C_u = (106-12*K)/100 = \underline{0.8824}$$

1.3 **Determinando el Coeficiente de Mantenimiento (C_m).**

El **Coeficiente de Mantenimiento** hace referencia a la influencia que tiene en el flujo que emiten las lámparas el grado de limpieza de la luminaria. Dependerá, por consiguiente, del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local.

Para determinarlo en nuestro ejemplo, y de acuerdo al programa de mantenimiento autorizado se tienen los siguientes datos:

Área	Periodicidad de limpieza
Pisos de marmol	Se trapea diario y se pulen cada mes
Pisos de alfombra en áreas de trabajo y oficinas	Se aspira diario y se lava cada mes
Pintura en muros de tablaroca	Se pinta una vez al año
Vidrios perimetrales en oficinas	Se lavan cada 6 meses
Plafón reticular de 60 x 60 cm, color blanco	Se sustituyen cada 2 años

Limpieza de luminarias con franela	Se limpian cada año
------------------------------------	---------------------

Tabla 3.7.- Programa de limpieza autorizado al interior del local

No obstante que las oficinas objeto de este ejemplo están en un edificio hermético se supone un ambiente semi-limpio es decir un $C_m = \underline{0.56}$

1.4 Determinando el Flujo Luminoso Total Necesario en el local (Φ_T) .

Una vez determinados los valores anteriores, los sustituimos en la ecuación (3.2.1)

$$\Phi_T = \frac{E_m * S}{C_u * C_m} = \frac{300 * 45.21}{0.8824 * 0.56} = \frac{13,563.00}{0.494144} = \underline{27,447.46 \text{ lúmenes}}$$

2. Determinando el número de luminarias (N_L), para alcanzar el nivel de iluminación adecuado, emplearemos la ecuación (3.2.2).

$$N_L = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} = \frac{27,447.46 \text{ lúmenes}}{3 * 800 \text{ lúmenes}} = 11.44 \approx \underline{12.0 \text{ Luminarias}}$$

3. Determinando el Emplazamiento de las luminarias.

Una vez calculado el número mínimo de luminarias que se necesitan se debe proceder a distribuir las sobre la planta del local, es decir, se tiene que averiguar la **distancia** a la que se deben instalar para **iluminarlo uniformemente**.

En los locales de planta rectangular, como es nuestro caso, si se requiere una iluminación uniforme las luminarias se tendrán que repartir de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local según las fórmulas:

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_L}{b} * a} \dots\dots\dots(3.2.4)$$

$$= \sqrt{\frac{11.44}{8.25} * 5.48} = \sqrt{7.59893} = \underline{2.756} = \underline{3 \text{ filas a lo ancho del local}}$$

$$N_{largo} = N_{ancho} * \left(\frac{b}{a}\right) \dots\dots\dots(3.2.5)$$

$$= 2.756 * \left(\frac{8.25}{5.48}\right) = 4.15 = \underline{\underline{4 \text{ columnas de luminarias a lo largo del local}}}$$

Es importante que las luminarias próximas a la pared estén más cerca para iluminarla (normalmente esa distancia es la mitad de la distancia a la que se coloque el resto), ver **Figura 3.2**.

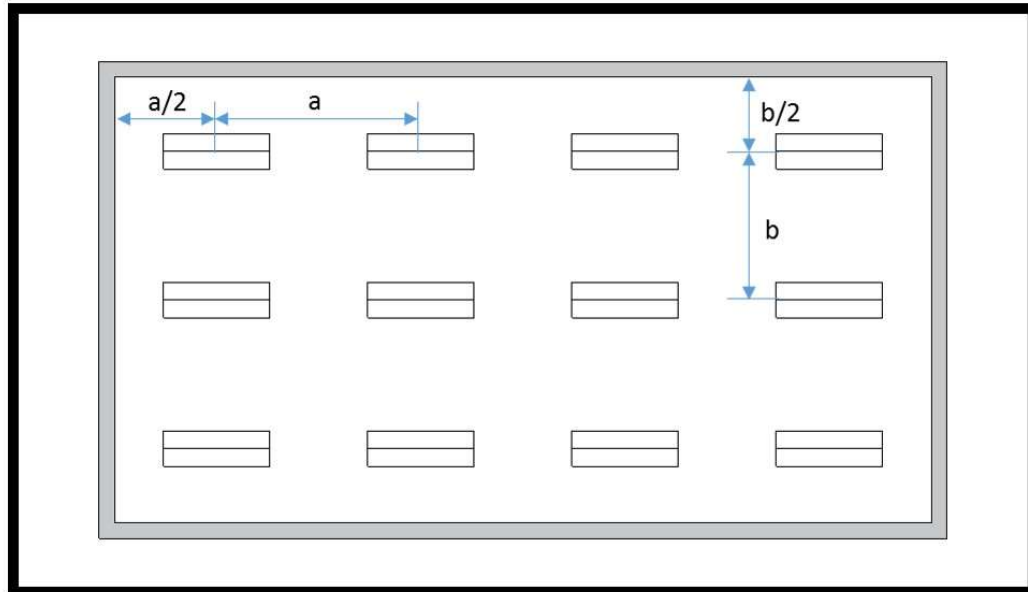
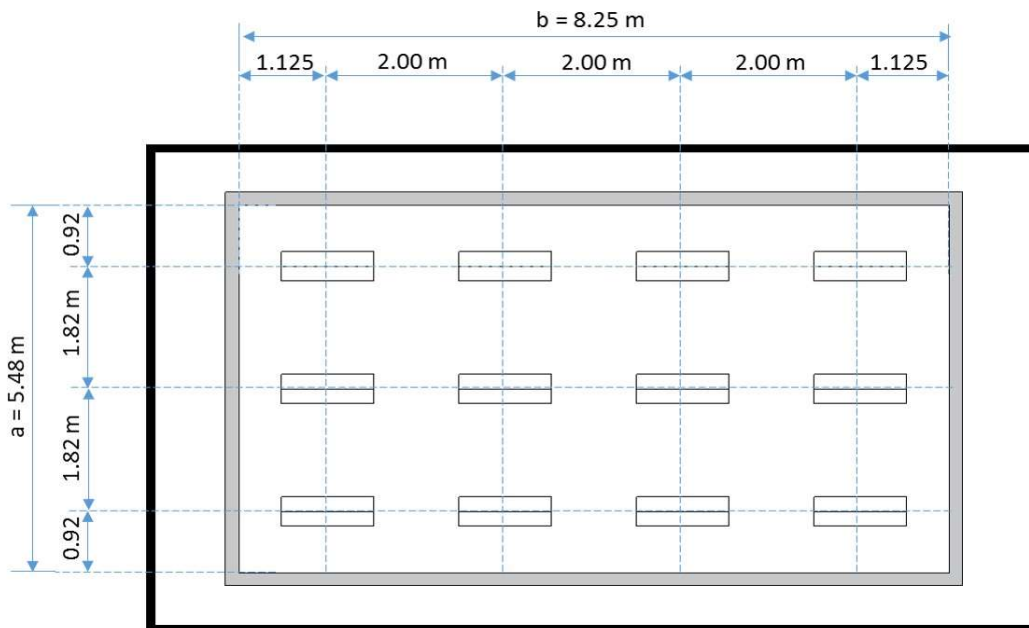


Figura 3.2 Distribución uniforme de luminarias. La distancia desde las paredes a las luminarias es igual a la mitad de la separación entre ellas.

Por lo tanto, el esquema de colocación de las luminarias en nuestro local, es el que se muestra en la Figura 3.3.



La distancia máxima de separación entre las luminarias depende del ángulo de apertura del haz y de la altura de montaje de las luminarias sobre el plano de trabajo **h**. La separación entre luminarias se puede resumir como sigue:

Tabla 3.8.- Relación entre altura del local y la distancia máxima entre luminarias

Tipo de luminaria	Altura de montaje de luminarias “h”	Distancia máxima entre luminarias “e”
Intensiva	> 10 m	$e \leq 1.2 h$
Extensiva	6-10 m	$e \leq 1.5 h$
semiextensiva	4-6 m	
Extensiva	$\leq 4 m$	$e \leq 1.6 h$

Toda vez que en nuestro caso **h = 2.22 m**, así como que en el sentido largo del local **e = 2.00 m** y en el sentido ancho del local **e = 1.82 m**.

Y si sustituimos en $e \leq 1.6 h$; “e” debe ser $\leq 1.6 * 2.22 m = 3.55m.$, por lo que las **separaciones propuestas** entre luminarias para nuestro ejercicio, en los dos sentidos **es aceptable**.

Si después de calcular la posición de las luminarias se encuentra que la distancia de separación es mayor que la distancia máxima admitida quiere decir que la distribución luminosa que se ha obtenido no es del todo uniforme. Esto puede deberse a que la potencia de las lámparas que se han elegido desde un principio es excesiva.

En estos casos, conviene rehacer los cálculos probando usar lámparas menos potentes, más luminarias o emplear luminarias con menos lámparas.

4. Evaluando si el número de luminarias determinadas es el correcto o no.

Por último, hay que **comprobar la validez de los resultados**. Hay que recordar que ya se fijó el nivel de iluminancia media que debía tener el local (**300 Luxes**).

Comprobar los resultados significa **comprobar la iluminancia media** que se ha obtenido en la instalación diseñada, con la recomendada y establecer si es igual o superior.

Para compararlos hay que sustituir los valores determinados en la ecuación 3.2.6:

$$E_m = \frac{N_L * n * \Phi_L * C_u * C_m}{S} \geq E_{tablas} \dots\dots\dots(3.2.6)$$

$$E_m = \frac{12 * 3 * 800 * 0.8824 * 0.56}{45.21} = \frac{14,231.3472}{45.21} = 314.78 \text{ Lx} \geq 300 \text{ Lx}$$

Al cumplir el *nivel de iluminancia media*, significa que el número de luminarias que se han instalado es correcto.



LUMINARIA KRONOS 60x60 cm EMPOTRAR

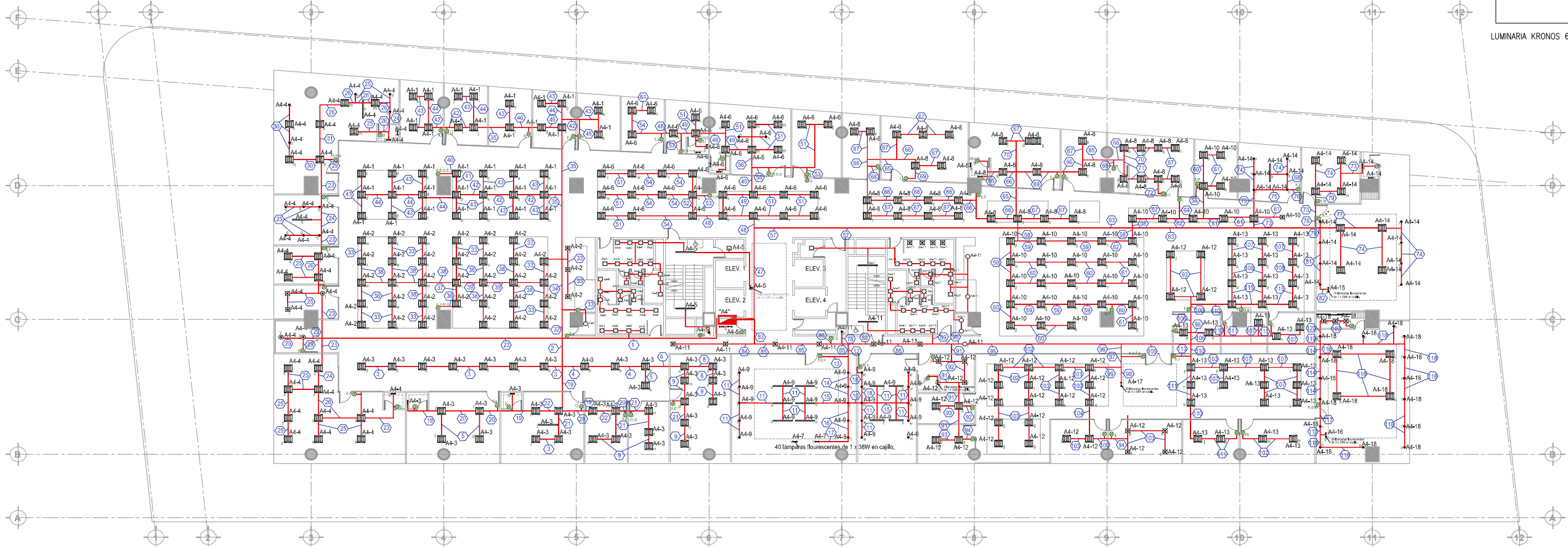


NOTAS GENERALES

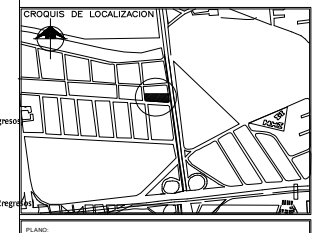
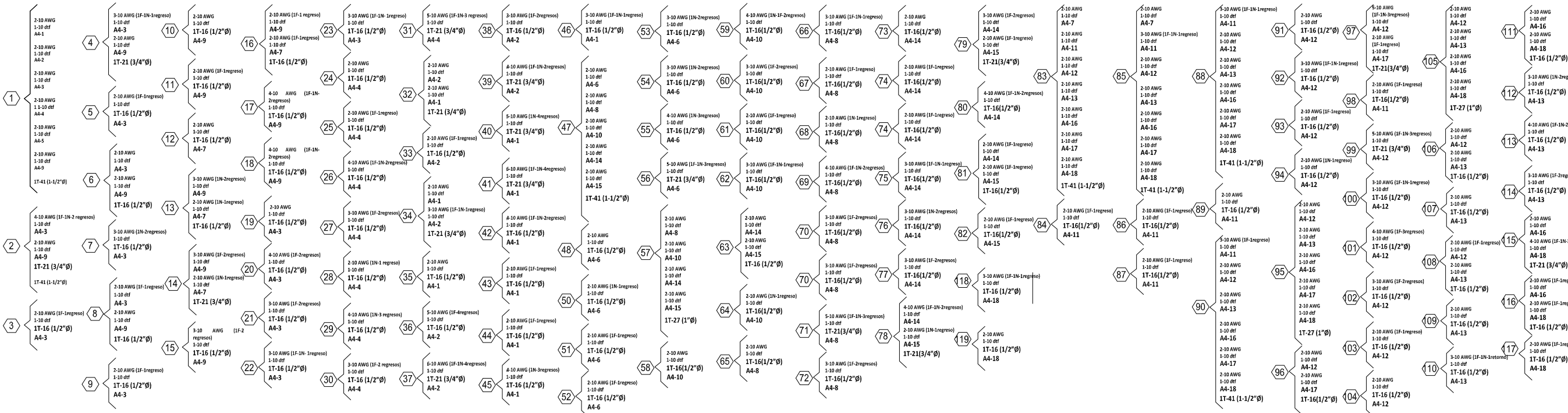
- Las salidas y trayectorias de las tuberías son indicativas, la ubicación exacta la indicará la supervisión de obra y estará en función del arreglo estructural y arquitectónico.
- Todos los conductores utilizados serán de cobre, con aislamiento para 600 V, del tipo THW-L.S. 75 °C, antífuma de baja emisión de humo.
- Este plano cumple con la norma NOM 001 SEDE-2012
- Todas las conexiones o empalmes se las colocará en un capuchón o se recubrirá con cinta aislante.
- Todos los circuitos portarán su hilo de tierra desdoblado de manera independiente de los demás y serán conectados a la barra del tablero.
- Toda la canalización de fierro galvanizado pared delgada.
- Las conexiones o empalmes se realizarán en cajas registros, así como los cambios de dirección.
- Deberán quedar alineadas tuberías y luminarias como se muestra en el plano de alumbrado.
- La soportera de luminarios tipo colgante deberá protegerse con pintura anticorrosiva.

SIMBOLOGIA

- TABLERO DE ALUMBRADO "A4"
- TUBERIA CONDUIT PARED DELGADA DE DIAMETRO INDICADO EN CELULAS DE CABLEADO
- APAGADOR SENCILLO 120V, 10A
- INDICA LUMINARIA QUE CONTROLA CADA APAGADOR
- INDICA CIRCUITO NO. 12 DEL TABLERO DE ALUMBRADO "A4"
- LUMINARIA EMPOTRAR EN PLAFON, DOWNLIGHT CIRCULAR DE 7.5 CM DE DIAMETRO, F.U.O. CON SISTEMA TRAMES Y LAMPARA LIGH EMITTING DIODE (LED) DE 10 W, CRI 80, 2700 °K, PARA OPERAR A 127 V/60HZ.
- LUMINARIA EMPOTRAR EN PLAFON, DOWNLIGHT CIRCULAR DE 10 CM DE DIAMETRO, F.U.O. CON SISTEMA TRAMES Y LAMPARA FLUORESCENTE DE 90 W (82 W CONSIDERANDO LAS PERDIDAS EN EL BALASTRO), PARA OPERAR A 127 V/60HZ.
- LUMINARIA KRONOS DE 60 X 60 CM, TIPO EMPOTRAR EN PLAFON, PARA ALCORAR 3 LAMPARAS LED DE 9 W (27 W TOTALES), 400 °K, FLUJO LUMINOSO DE 2400 LUMENES TOTALES, PARA OPERAR A 127-220 V/60HZ.
- LUMINARIA LINEAL CON GABINETE TIPO COLGANTE, EMISION DIRECTA DE 2.44 M, PARA ALCORAR DOS LAMPARAS FLUORESCENTES TIPO T.6, DE 30 W CADA UNA (84 W TOTALES, CONSIDERANDO LAS PERDIDAS EN BALASTRO), 840 ND, PARA OPERAR A 127 V/60 HZ.
- LUMINARIA LINEAL TIPO CANALETA, EMISION DIRECTA DE 1.22 M, PARA ALCORAR UNA LAMPARA FLUORESCENTE TIPO T.6, DE 38 W, 840 ND, PARA OPERAR A 127 V/60 HZ.
- LUMINARIA TIPO DOWNLIGHT, CIRCULAR, F.U.O. CON SISTEMA DE EMPOTRE EN PLAFON, TIPO PINHOLE, CON LAMPARA LIGH EMITTING DIODE (LED) DE 9W, CRI 80, 2700 °K, PARA OPERAR A 127 V/60HZ.



C É D U L A D E C A B L E A D O



PLANTA 4to NIVEL

PROYECTO: ALUMBRADO 4to NIVEL

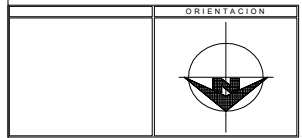
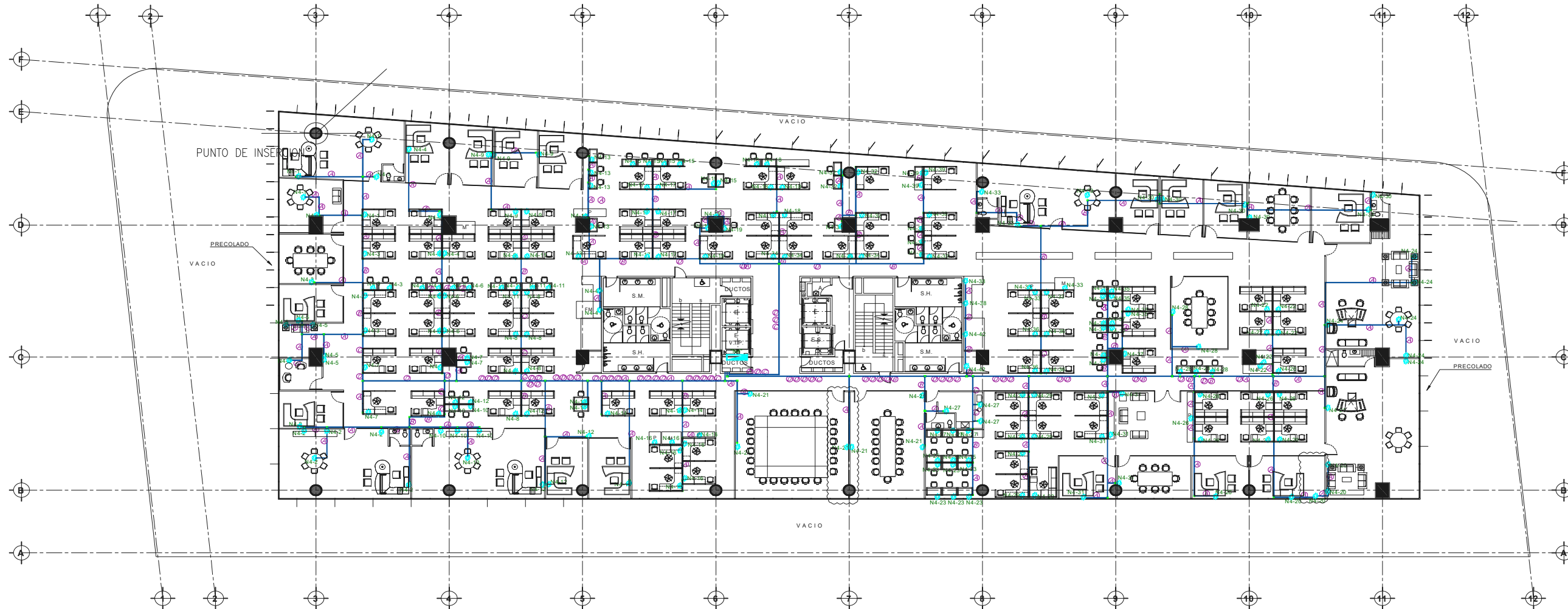
REINGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE DE LA INSTALACION ELECTRICA DE ALUMBRADO DE UN EDIFICIO PÚBLICO

ESCALA GRAFICA

CLAVE DEL PLANO ALUM-04

09 - FEBRERO - 2020

3.3 Sistema de Contactos Normales

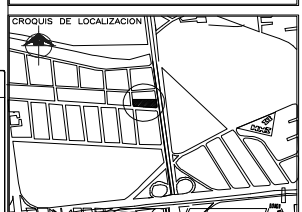


NOTAS GENERALES

- ACOTACIONES EN METROS.
- NIVELES EN METROS.
- LAS COTAS RIGEN AL DIBUJO.
- REVISAR Y AJUSTAR MEDIDAS Y NIVELES EN OBRA.

SIMBOLOGIA

- TABLERO DE CONTACTOS NORMALES "N4"
- TUBERIA CONDUIT PARED DELGADA GALVANIZADA, POR LECHO INFERIOR DE LOSA.
- CONTACTO DUPLEX ENERGIA NORMAL 127 VCA.
- N4-26** INDICA CIRCUITO NO. 26 DEL TABLERO DE CONTACTOS NORMALES "N4"



PLANTA 4to NIVEL

UBICACION: _____

PROYECTO: MACLOVIO MELQUIADES FLORES

SISTEMA DE CONTACTOS NORMALES "N4" DE UN EDIFICIO PÚBLICO

ESCALA GRAFICA

ACOTACION: METROS

ESCALA: 1 : 150

FECHA: FEBRERO-2020

CLAVE DEL PLANO: **ELE-N4**

DIAMETRO NOMINAL DE TUBERIA

ANTES	SISTEMA INGLÉS	DIAMETRO ACTUALIZADO
13mm	(1/2")	16mm
19mm	(3/4")	21mm
25mm	(1")	27mm
32mm	(1 1/4")	35mm
38mm	(1 1/2")	41mm
51mm	(2")	53mm
64mm	(2 1/2")	63mm
76mm	(3")	78mm
101mm	(4")	103mm

LOS DIAMETROS NOMINALES ACTUALIZADOS, ESTAN DE ACUERDO A TABLA 10-4 DE LA NOM-001-SEDE-2012.

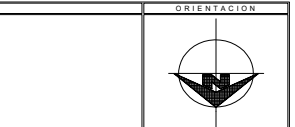
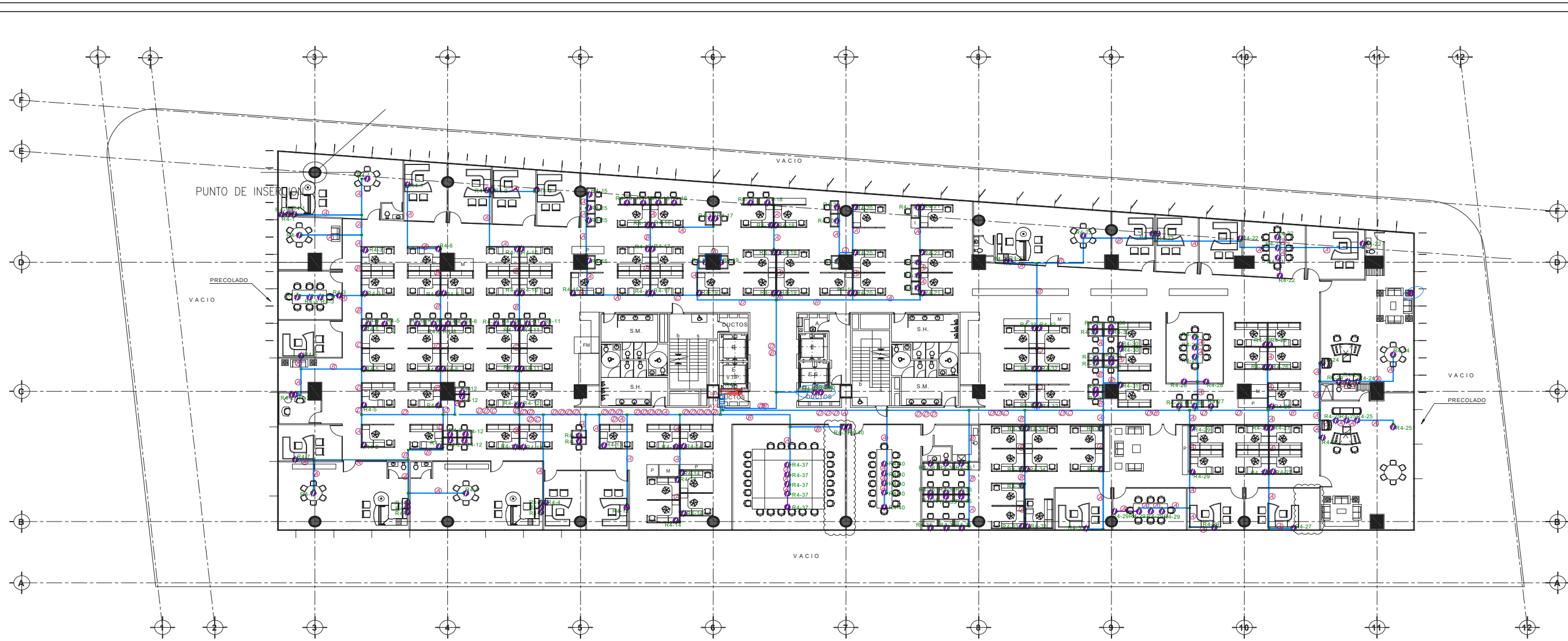
CEDULA DE CABLEADO

④ 2-10 AWG	④ 4-10 AWG
①-10 T.F.D	①-10 T.F.D
T-21 mm	T-21 mm
⑥ 6-10 AWG	⑥ 8-10 AWG
①-10 T.F.D	①-10 T.F.D
T-27 mm	T-27 mm

NOTAS

- 1.- LOS CONDUCTORES EMPLEADOS SERAN DE COBRE CON AISLAMIENTO PARA 600 V.C.A., A 75°C, DEL TIPO THW-LS, MCA, CONDUMEX O SIMILAR.
- 2.- EL CONDUCTOR NEUTRO DEL SISTEMA DEBERA CONECTARSE A TIERRA UNICAMENTE EN EL LADO SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR (500 KVA) DE ALIMENTACION, Y LAS PARTES METALICAS NO CONDUCTORAS DE INSTALACION, DEBERAN CONECTARSE A TIERRA.
- 3.- TODA LA INSTALACION SE EFECTUARA A BASE DE TUBERIA CONDUIT GALVANIZADA PARED DELGADA.
- 4.- LOS MATERIALES, EQUIPOS Y ACCESORIOS EMPLEADOS SERAN NUEVOS.
- 5.- EN TRAMOS RECTOS LA TUBERIA CONDUIT DEBE CONTAR CON REGISTROS DE PASO A INTERVALOS NO MAYORES DE 20m COMO MAXIMO O DESPUES DE DOS CAMBIOS DE DIRECCION.
- 6.- LA UBICACION EXACTA DE CANALIZACIONES Y EQUIPOS, SE FLUJEA EN CAMPO EN COORDINACION CON LA DIRECCION GENERAL DE OBRA.
- 7.- EL CONTRATISTA ELECTRICO DEBERA REALIZAR LOS PASOS NECESARIOS EN PISOS, LOSAS, MUROS Y PLAFOND PARA SUS INSTALACIONES REQUERIDAS, PREVIA AUTORIZACION DE LA DIRECCION GENERAL DE OBRA.
- 8.- LA EJECUCION DE LOS TRABAJOS DE INSTALACION ELECTRICA DEBERA APEGARSE A LA NOM-001-SEDE-2005
- 9.- EL CONTRATISTA ELECTRICO DEBERA ENTREGAR UN JUEGO DE PLANOS ACTUALIZADOS AL TERMINAR LA OBRA.

3.4 Sistema de Contactos Regulados



NOTAS GENERALES

- ACOTACIONES EN METROS.
- NIVELES EN METROS.
- LAS COTAS RIGEN AL DIBUJO.
- REVISAR Y AJUSTAR MEDIDAS Y NIVELES EN OBRA.

SIMBOLOGIA

- R4** TABLERO DE CONTACTOS REGULADOS "R4"
- TUBERIA CONDUIT PARED DELGADA GALVANIZADA, POR LECHO INTERIOR DE LOSA.
- CONTACTO DUPLEX ENERGIA REGULADA 127 VCA.
- R4-26** INDICA CIRCUITO NO. 26 DEL TABLERO DE CONTACTOS REGULADOS "R4"

DIAMETRO NOMINAL DE TUBERIA

ANTES	SISTEMA INGLES	DIAMETRO ACTUALIZADO
13mm	(1/2")	16mm
19mm	(3/4")	21mm
25mm	(1")	27mm
32mm	(1 1/4")	35mm
38mm	(1 1/2")	41mm
51mm	(2")	53mm
64mm	(2 1/2")	63mm
76mm	(3")	78mm
101mm	(4")	103mm

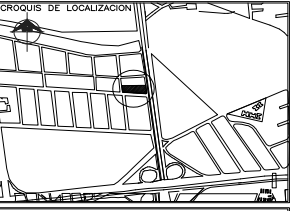
LOS DIAMETROS NOMINALES ACTUALIZADOS, ESTAN DE ACUERDO A TABLA 10-4 DE LA NOM-001-SEDE-2012.

CEDULA DE CABLEADO

Ⓐ 2-10 AWG	Ⓑ 4-10 AWG
1-10 T.F.D	1-10 T.F.D
1-10 T.F.A	1-10 T.F.A
T-21 mm	T-21 mm
Ⓒ 6-10 AWG	Ⓓ 8-10 AWG
1-10 T.F.D	1-10 T.F.D
1-10 T.F.A	1-10 T.F.A
T-27 mm	T-27 mm

NOTAS

- 1.- LOS CONDUCTORES EMPLEADOS SERAN DE COBRE CON AISLAMIENTO PARA 600 V.C.A., A 75°C, DEL TIPO THW-L5, MCA, CONDUMEX O SIMILAR.
- 2.- EL CONDUCTOR NEUTRO DEL SISTEMA DEBERA CONECTARSE A TIERRA UNICAMENTE EN EL LADO SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR (500 KVA) DE ALIMENTACION, Y LAS PARTES METALICAS NO CONDUCTORAS DE INSTALACION, DEBERAN CONECTARSE A TIERRA.
- 3.- TODA LA INSTALACION SE EFECTUARA A BASE DE TUBERIA CONDUIT GALVANIZADA PARED DELGADA.
- 4.- LOS MATERIALES, EQUIPOS Y ACCESORIOS EMPLEADOS SERAN NUEVOS.
- 5.- EN TRAMOS RECTOS LA TUBERIA CONDUIT DEBE CONTAR CON REGISTROS DE PASO A INTERVALOS NO MAYORES DE 20m COMO MAXIMO O DESPUES DE DOS CAMBIOS DE DIRECCION.
- 6.- LA UBICACION EXACTA DE CANALIZACIONES Y EQUIPOS, SE FUJARA EN CAMPO EN COORDINACION CON LA DIRECCION GENERAL DE OBRA.
- 7.- EL CONTRATISTA ELECTRICO DEBERA REALIZAR LOS PASOS NECESARIOS EN PISOS, LOSAS, MUROS Y PLAFOND PARA SUS INSTALACIONES REQUERIDAS, PREVIA AUTORIZACION DE LA DIRECCION GENERAL DE OBRA.
- 8.- LA EJECUCION DE LOS TRABAJOS DE INSTALACION ELECTRICA DEBERA APEGARSE A LA NOM-001-SEDE-2005
- 9.- EL CONTRATISTA ELECTRICO DEBERA ENTREGAR UN JUEGO DE PLANOS ACTUALIZADOS AL TERMINAR LA OBRA.



PLANTA 4to NIVEL

UBICACION: _____

PROYECTO: MACLOVIO MELQUIADES FLORES

SISTEMA DE CONTACTOS REGULADOS "R4" DE UN EDIFICIO PÚBLICO

ESCALA GRÁFICA

ACOTACION: METROS

ESCALA: _____

FECHA: _____

CLAVE DEL PLANO: **ELE-R4**

FEBRERO 2020

3.5 Cuadros de Carga y Balanceo de Tableros.

A manera de ejemplo a continuación se calcula el calibre del conductor del circuito derivado **A4-3**, del tablero de alumbrado “**A4**”, localizado en el **piso 4** del edificio público.

Circuito A4-3

Carga Instalada:

De acuerdo al cuadro de cargas **A4** tenemos:

Carga Total instalada = **1154.0 W**; Tensión de operación = **127.0 V**; Sistema monofásico a dos hilos (1F-2H); Carga **NO** continua = **0.0 W** ; Factor de Potencia= **0.9**

1.- Cálculo del conductor por Ampacidad

Calculando la corriente nominal del circuito.

$$I_n = \frac{W}{E_n * F.P.} = \frac{1154}{127 * 0.9} = \frac{1154}{114.3} = 10.10 \text{ A}$$

Carga total demandada (ITD) o carga continua = $10.10 * 1.0 = 10.10 \text{ A}$

Tabla 3.9.- Consideraciones

DATO	CLAVE	VALOR
Carga Total Demandada	ITD	10.10 A
Carga Continua	IC	10.10 A
Carga NO Continua	INC	0.0 A
Longitud del Circuito Derivado	L	20.0 m
Tensión del Sistema	E_n	127.0 V
Factor de Temperatura a 30 °C	F.T.	1.0 ; según tabla 310-15 (b) (2) (a) NOM 001-SEDE -2012
Factor de Agrupamiento (10 conductores)	F.A.	0.5 ; según tabla 310-15 (b) (3) (a) NOM 001-SEDE -2012
Factor de Potencia	F.P.	0.9

Determinando la corriente corregida (I_c) por factores de temperatura y por agrupamiento.

$$I_c = \frac{10.10 \text{ A}}{1 * 0.5} = 20.19 \text{ A}$$

Según artículo 210-19 (a) (1) de *la NOM 001-SEDE -2012*, el **tamaño mínimo del conductor del circuito derivado**, debe tener una ampacidad permisible no menor que la carga no continua más el **125** por ciento de la carga continua.

Por lo que la corriente del circuito será $1.25 * 20.19 = 25.23 \text{ A}$

Según la tabla 310-15 (b)(16) de la **NOM 001-SEDE -2012**, corresponde a un conductor calibre **10 AWG**, con sección transversal de **5.26 mm²** y capacidad de conducción de **35A**.

2.- Cálculo del conductor por Caída de Tensión

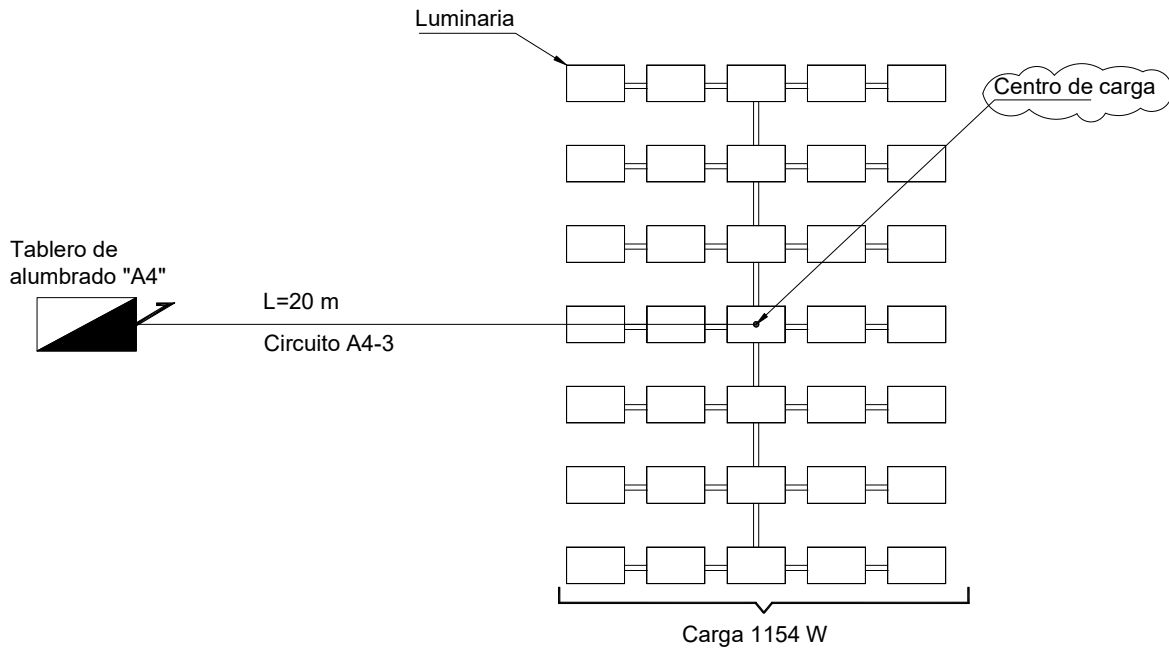


Figura 3.4 Centro de carga de las luminarias del circuito A4-3.

Según el artículo 210-19 (a)(1), nota 4 de la **NOM 001-SEDE -2012** la caída máxima de tensión hasta la carga más lejana no debe ser superior a **3%**.

Por lo que, si se calcula la sección del conductor respectivo:

$$S = \frac{4 * L * I_c}{E_n * e \%} = \frac{4 * 20.0 * 20.19}{127 * 3} = \frac{1,615.2}{381} = 4.24 \text{ mm}^2$$

Según la tabla 310-15 (b)(16) de la **NOM 001-SEDE-2012**, esta sección corresponde a un conductor calibre **10 AWG** con sección transversal de **5.26 mm²** y capacidad de conducción **35.0 A**

Calculando la caída de tensión real con conductor calibre 10 AWG.

$$e \% = \frac{4 * L * I_c}{E_n * S} = \frac{4 * 20 * 20.19}{127 * 5.26} = \frac{1,615.2}{668.02} = 2.42\% \text{ cuyo valor es menor al permisible de } 3\%.$$

Conclusión: Para el circuito A4-3 se utilizará un conductor calibre **10 AWG**.

3.- Cálculo de la protección contra sobrecorriente

Según el artículo 210-20 de la NOM 001-SEDE-2012, indica que “Los conductores de circuitos derivados y los equipos deben estar protegidos mediante dispositivos de protección contra sobrecorriente con valor nominal o ajuste no menor a la carga no continua más el 125 por ciento de la carga continua.

$$I_{protección} = 1.25 * I_n = 1.25 * 10.10 \text{ A} = 12.62 \text{ A}$$

Sin embargo, los artículos 210-20 (b) y 240-4 de la NOM 001-SEDE-2012 indican que los conductores que no sean cordones flexibles, cables flexibles ni alambres de luminarias, se deben proteger contra sobrecorriente de acuerdo a su ampacidad, y dado que se considera que el conductor es de calibre 10 AWG con una capacidad de conducción de hasta 35 A, se considerará un interruptor termomagnético de **1P x 20 A de disparo**.

4.- Cálculo de la sección transversal mínima del conductor de puesta a tierra para canalizaciones y equipos del circuito derivado “A4-3”

Selección del cable de cobre desnudo.

Según tabla **250-122** “Tamaño mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones o equipos” de la NOM 001-SEDE-2012.

Y dado que la capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc., es de = **1P-20 A**

La sección mínima del conductor de puesta a tierra será de **3.31 mm²**, que corresponde al calibre **12 AWG**.

Nota: estos valores fueron asentados en los cuadros de cargas y diagramas unifilares.

CÁLCULO DE CONDUCTORES POR AMPACIDAD Y CAIDA DE TENSIÓN Y PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE DE ALIMENTADORES DESDE TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN A TABLEROS DE ALUMBRADO, A TABLEROS DE CONTACTOS NORMALES Y TABLERO DE CONTACTOS REGULADOS EN 4to. PISO.

Cálculo de alimentadores desde tablero de distribución TD-3 a Tableros de Alumbrado en Planta Baja, Nivel 1, Nivel 2, Nivel 3 y Nivel 4 e identificados respectivamente como APB, A1, A2, A3 y A4.

A manera de ejemplo se calculará el alimentador desde el tablero de distribución **TD-3** ubicado en sótano 1 hasta el Tablero de Alumbrado **A4** ubicado en el **Nivel 4** del edificio gubernamental.

Circuito TD-3-5

Carga Instalada:

De acuerdo al cuadro de cargas y diagrama Unifilar General DIAG-01 y el cuadro de cargas del tablero de alumbrado A4:

Carga Total instalada = **17,873.00 W**; Tensión de operación = **220.0 V**; Sistema trifásico a cuatro hilos (3F-4H); Carga **NO** continua = **0.0 W** ; Factor de Potencia= **0.9**

1.- Cálculo del conductor por Ampacidad

Calculando la corriente nominal del circuito

$$I_{n1} = \frac{W}{\sqrt{3} * E_f * \cos \phi} = \frac{17,873.00}{\sqrt{3} * 220 * 0.9} = \frac{17,873.00}{342.946} = \mathbf{52.11 \text{ A}}$$

Sin embargo y con el propósito de dejar sobrados los conductores para posibles incrementos de carga y a que el Tablero de Alumbrado **A4** cuenta con suficiente capacidad para ello, se considerará una carga adicional de reserva de $I_{n2} = \mathbf{52.11 \text{ A}}$

Por lo anterior la carga total será de $I_T = I_{n1} + I_{n2} = \mathbf{52.11 \text{ A} + 52.11 \text{ A} = 104.22 \text{ A}}$

Carga total demandada (ITD) = $104.22 * 1.0 = \mathbf{104.22 \text{ A}}$

Tabla 3.10.- Consideraciones

DATO	CLAVE	VALOR
Carga Total Demandada	ITD	104.22 A
Carga Continua	IC	104.22A
Carga NO Continua	INC	0.0 A
Longitud del Circuito Derivado	L	100.0 m
Tensión del Sistema	E_f	220.0 V
Factor de Temperatura a 30 °C	F.T.	1.0 ; según tabla 310-15 (b) (2) (a) NOM 001-SEDE -2012
Factor de Agrupamiento de conductores en una sola capa, en charola porta cables, sin cubierta y fondo ventilado	F.A.	0.65 ; según tabla 310-15 (b) (17) y art. 392-80(2)(b) NOM 001-SEDE -2012
Factor de Potencia	F.P.	0.9

Toda vez que los conductores de este circuito alimentador se instalarán en una sola capa, en charola portables sin cubierta y fondo ventilado y considerando lo preceptuado en el

artículo 292-80 (2) (b) que para estos casos, se debe aplicar un factor de agrupamiento del **65%** de la ampacidad permisible indicada en la tabla 310-15 (b) (17).

Determinando la corriente corregida (I_c) por factores de temperatura y por agrupamiento en charola portacable, sin tapa y fondo ventilado.

$$I_c = \frac{104.22 \text{ A}}{1 * 0.65} = \mathbf{160.33 \text{ A}}$$

Así mismo el artículo 215-2 (a) (1) de la **NOM 001-SEDE -2012**, nos indica que el **tamaño mínimo del conductor del circuito alimentador**, debe tener una ampacidad permisible no menor que la carga no continua más el **125** por ciento de la carga continua.

Por lo que la corriente del circuito será **$1.25 * 160.33 = 200.42 \text{ A}$**

Según la tabla 310-15 (b)(17) de la **NOM 001-SEDE -2012**, corresponde a un conductor calibre **1/0 AWG**, con sección transversal de 53.5 mm² y capacidad de conducción de **230 A**.

2.- Cálculo del conductor por Caída de Tensión

Según el artículo 215-2 (a), nota 2 de la **NOM 001-SEDE -2012** la caída máxima de tensión hasta el contacto más lejano no debe ser superior a **2%**.

Por lo que, si se calcula la sección del conductor respectivo:

$$S = \frac{2 * L * I_T}{E_n * e \%} = \frac{2 * 100.0 * 104.22}{127 * 2} = \frac{20,884.0}{254} = \mathbf{82.06 \text{ mm}^2}$$

Según la tabla 310-15 (b)(17) de la **NOM 001-SEDE -2012**, esta sección corresponde a un conductor calibre **3/0 AWG** con sección transversal de **85.0 mm²** y capacidad de conducción **310.0 A**

Calculando la caída de tensión real con conductor calibre 3/0 AWG

$$e \% = \frac{2 * L * I_T}{E_n * S} = \frac{2 * 100 * 104.22}{127 * 85.00} = \frac{20,884.0}{10,795.00} = \mathbf{1.934\%}$$
 cuyo valor es menor al permisible de **2%**

Conclusión: Para el circuito **TD-3-5** se utilizarán 4 conductores calibre **3/0 AWG**

3.- Cálculo de la protección contra sobrecorriente

Según el artículo **215-3 de la NOM 001-SEDE-2012**, indica que “Los conductores de circuitos alimentadores y los equipos deben estar protegidos mediante dispositivos de protección contra sobrecorriente con valor nominal o ajuste no menor a la carga NO continua, más el **125** por ciento de la carga continua.

Para el efecto se considerará sólo la carga actual, misma que es la que se debe proteger, es decir; $I_{n1} = 52.11 \text{ A}$

$$I_{\text{protección}} = 1.25 * I_{n1} = 1.25 * 52.11 \text{ A} = 65.13 \text{ A}$$

Por lo que se considerará un interruptor termomagnético trifásico de **3P x 60 A de disparo**.

4.- Cálculo de la sección transversal mínima del conductor de puesta a tierra para canalizaciones y equipos del circuito derivado TD-3-5

Selección del cable de cobre desnudo.

Según **tabla 250-66** de la **NOM 001-SEDE-2012** Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna, nos indica el tamaño del conductor de puesta a tierra en función del tamaño del mayor conductor de entrada a la acometida o área equivalente para conductores en paralelo. De ahí que dado que los conductores de fase son de **3/0 AWG** implica que el tamaño del conductor de puesta a tierra debe ser entre **2/0** a **3/0 AWG**, elegimos el de **3/0 AWG**.

Nota: estos valores fueron asentados en el diagrama unifilar general.

3.6 Sistema de Tierras

Los sistemas eléctricos que son puestos a tierra, se conectan a tierra con el objeto de limitar las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas, a fenómenos transitorios en la línea, a contactos accidentales de mayor tensión, así como para limitar la diferencia de potencial a tierra (estabilizar la tensión a tierra) del circuito durante su operación normal.

Una conexión sólida a tierra bajo condiciones de falla a tierra, facilitará que los dispositivos de protección contra sobre corriente operen para liberar la falla, así como descargar la estática acumulada en las carcasas y/o cubiertas de los equipos producidas por el funcionamiento propio de los mismos, antes de que se produzca un arco eléctrico.

Las funciones del sistema de tierras son principalmente proveer un circuito de baja impedancia para transportar la corriente bajo condiciones de falla a tierra (al suelo), desde el punto de la falla en un sistema de alambrado, hasta la fuente de alimentación eléctrica, así como proveer un camino de baja impedancia para que en forma segura se transporten a tierra las corrientes producidas por las descargas atmosféricas y evitar que durante la circulación de estas corrientes por la tierra (el suelo), puedan producirse diferencias de

potencial entre distintos puntos del sistema eléctrico, ya sea sobre el piso o con respecto a partes metálicas puestas a tierra, que puedan ser peligrosas para la integridad física de las personas y los equipos, y con ello facilitar mediante la operación de relevadores, interruptores u otros elementos adecuados, la eliminación de fallas a tierra en los sistemas eléctricos, dando mayor confiabilidad y continuidad al servicio eléctrico.

Es decir, el control de la tensión reduce el peligro de las descargas eléctricas en las personas que están en contacto con conductores energizados.

3.6.1 Conceptos básicos de la puesta a tierra.

Se asume que el planeta tierra es una capa con baja impedancia y que por lo tanto tiene un potencial cero, que puede ser un excelente o pésimo conductor eléctrico, esto dependerá de grado de humedad, del tipo de terreno que puede ser orgánico, arenoso, arcilloso, rocoso, etc., ver Figura 3.5.

La corriente fluye en cualquier lapso de tiempo y ésta sigue la Ley de Kirchoff, por lo tanto la tierra es finita y en la que la corriente fluye hacia la tierra en el mismo punto.

La Tierra como un conductor



Se asume que la Tierra tiene un potencial cero

Figura 3.5 La tierra como un conductor; Oropeza A. (2013). *Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal*, pág. 12.

En una instalación, todas las partes metálicas de los equipos eléctricos que normalmente no son para transportar energía eléctrica, deben igualarse al potencial del planeta tierra, para que no exista una diferencia de potencial que pudiera representar un peligro a los seres humanos, ver Figura 3.6.

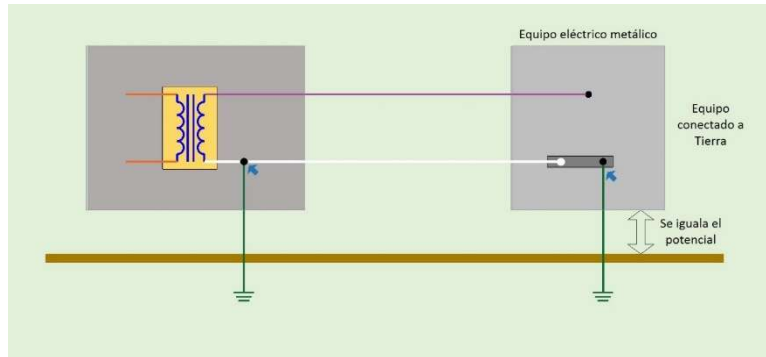


Figura 3.6 Partes metálicas de equipos eléctricos al mismo potencial que la tierra; Oropeza A. (2013). *Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal*, pág. 12.

3.6.2 Condiciones de operación de un circuito eléctrico.

A) Circuito eléctrico en funcionamiento normal.

El circuito eléctrico se alimenta eléctricamente a 120 V, el cual alimenta una carga de 30Ω con un conductor de tamaño nominal No. 14 AWG, con una ampacidad de conducción de corriente de 15 A, de acuerdo a la tabla 310-15 (b)(16) de la NOM-001-SEDE-2012.

Aplicando la Ley de Ohm, se obtiene una corriente de 4 A, con lo que el circuito eléctrico funcionará normalmente. Si el mismo circuito eléctrico ahora alimenta a una carga de 12Ω a 120 V, se obtiene una corriente de 10 A, con lo que el circuito funcionará normalmente, ver Figura 3.7.

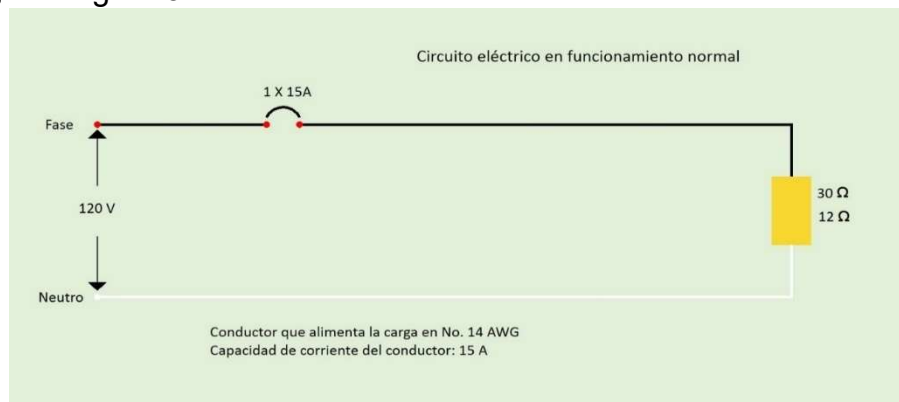


Figura 3.7 Para que este circuito eléctrico funcione normalmente no es necesario que sea puesto a tierra; Oropeza A. (2013). *Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal*, pág. 13.

B) Circuito eléctrico con la condición de sobrecarga

Un equipo está en condición de **sobrecarga** cuando está funcionando excediendo su capacidad nominal de plena carga, o de un conductor excediendo su capacidad de conducción de corriente nominal, al persistir tal funcionamiento por suficiente tiempo puede causar daños o sobrecalentamiento peligroso. Cabe precisar que una falla tal como un corto circuito o una falla a tierra, **NO** es una sobrecarga.

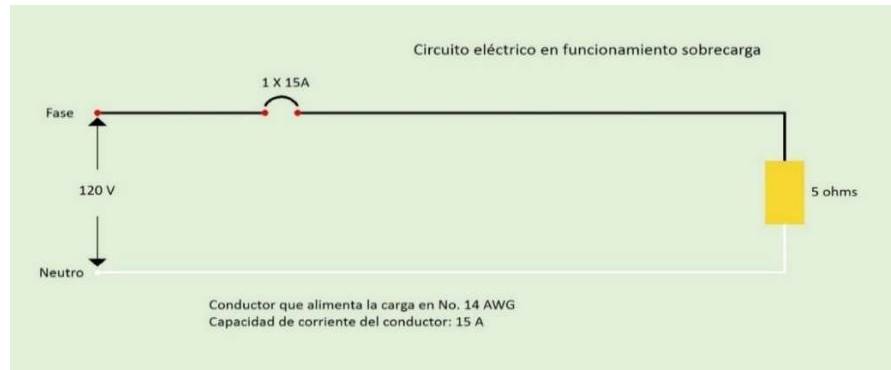


Figura 3.8 Circuito eléctrico con la condición de sobrecarga, para que este circuito eléctrico funcione correctamente no es necesario que sea puesto a tierra; Oropeza A. (2013). *Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal*, pág. 14

El circuito eléctrico se alimenta eléctricamente a 120 V, el cual alimenta una carga de 5 Ω , con un conductor de tamaño nominal No. 14 AWG con una capacidad de conducción de corriente de 15 A. Aplicando la Ley de Ohm, se obtiene una corriente de 24 A, con lo que el circuito eléctrico funcionará sobrecargado; el dispositivo de protección contra sobrecorriente deberá operar y abrir el circuito, protegiendo así al conductor, ver Figura 3.8.

C) Circuito eléctrico con la condición de corto circuito entre fase y neutro.

El circuito eléctrico se alimenta eléctricamente a 120 V, el cual alimenta una carga de 5 Ω , con un conductor de tamaño nominal No. 14 AWG con una capacidad de conducción de corriente de 15 A. Si ocurre una falla de cortocircuito entre fase y neutro, circulará una corriente de cortocircuito por el conductor neutro con una impedancia de 0.6 Ω , en una longitud de 30.0 m. Aplicando la Ley de Ohm, se obtiene una corriente de 200 A. Con este valor de corriente el dispositivo de protección contra sobrecorriente deberá operar y abrir el circuito, protegiendo así al conductor, ver Figura 3.9.

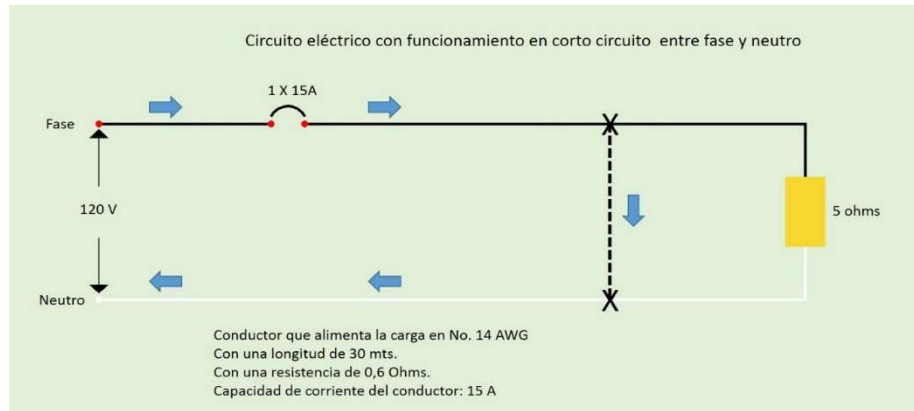


Figura 3.9 Circuito eléctrico con falla eléctrica de fase a neutro, este circuito eléctrico no debe ser puesto a tierra para que funcione correctamente y libere la falla de cortocircuito de fase a neutro, debido a que la corriente de cortocircuito circula exclusivamente por conductores; Oropeza A. (2013). *Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal*, pág. 14.

D) Falla de fase a tierra

En la Figura 3.10 se muestra un transformador como fuente de alimentación eléctrica, sólo se indica el secundario con conexión en estrella **NO** puesto a tierra, por lo que se obtiene un **NEUTRO FLOTANTE**.

Se alimenta un gabinete metálico con un interruptor automático con una fase y un neutro. De dicho gabinete se alimenta una carga eléctrica por medio de 2 conductores, fase y neutro, instalados en una canalización metálica, la cual hace un contacto efectivo con el gabinete del interruptor automático y la caja metálica de la carga. La tubería (conduit) metálica se utiliza como conductor de puesta a tierra.

Si ocurre un contacto eléctrico entre el conductor de fase y la canalización metálica, ésta quedará energizada. Si una persona hace contacto con la tubería metálica y con el terreno natural, en el momento en que la tubería (conduit) metálica está energizada, la corriente eléctrica **NO** circulará a través de la persona, debido a que el transformador de alimentación **NO** tiene ninguna conexión con el terreno natural. Por lo tanto la persona **NO** cerrará el circuito eléctrico.

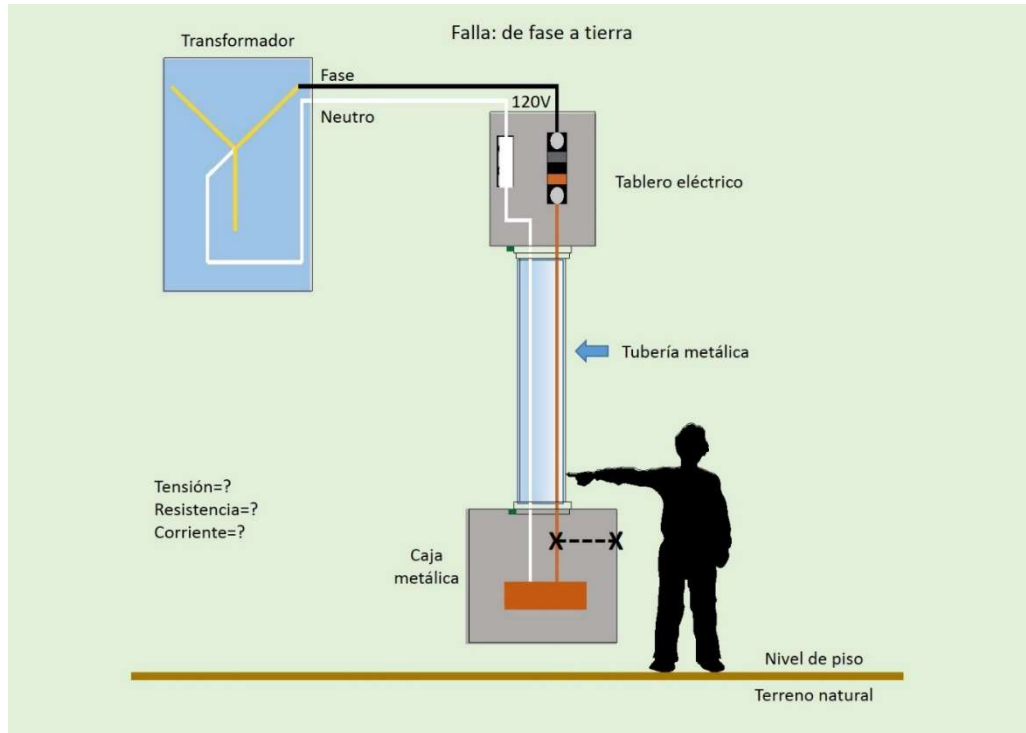


Figura 3.10 Contacto eléctrico del conductor de fase con la canalización metálica; Oropeza A. (2013). *Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal*, pág. 16.

La corriente eléctrica de falla debe regresar a su lugar de origen, en este caso no existe una trayectoria para llegar a su origen. El circuito anterior es la base de un transformador de aislamiento.

En la Figura 3.11 se muestra un transformador como fuente de alimentación eléctrica. Sólo se indica el secundario con conexión en estrella con el punto central puesto a tierra, por lo que se obtiene un **neutro sólidamente puesto a tierra**.

Se alimenta a un gabinete metálico con un interruptor automático con una fase y un neutro. De dicho gabinete se alimenta una carga eléctrica por medio de 2 conductores fase y neutro, instalados en una canalización metálica, la cual hace un contacto efectivo con el gabinete del interruptor automático y la caja metálica de la carga. La tubería (conduit) metálica se utiliza como conductor de puesta a tierra.

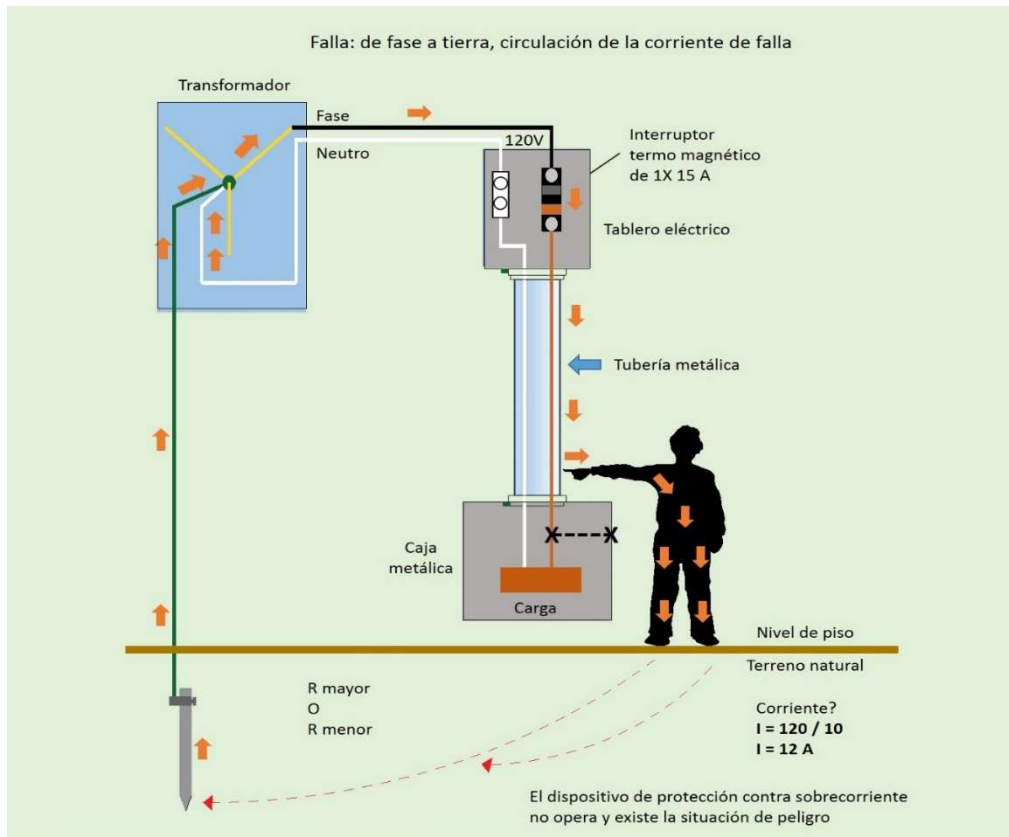


Figura 3.11. Trayectorias de la corriente de falla a tierra; Oropeza A. (2013). *Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal*, pág. 18.

El terreno natural puede ser un excelente o pésimo conductor, dependiendo de la resistividad eléctrica; es por esta razón que el terreno natural (tierra) no se deberá de utilizar como único conductor de puesta a tierra.

Si ocurre un contacto eléctrico entre el conductor de fase y la canalización metálica, ésta quedará energizada. Si una persona hace contacto con la tubería metálica con la mano como se observa en la Figura 3.11 y con el terreno natural a través de sus pies, en el momento en que la tubería (conduit) metálica está energizada, forma un nodo y la corriente eléctrica de falla circulará a través de la persona, debido a que el transformador de alimentación se encuentra puesto a tierra, por lo que la persona cerrará el circuito eléctrico a través del terreno natural.

Recordando que la corriente eléctrica de falla de fase a tierra debe regresar a su lugar de origen, la trayectoria que tomará la corriente de falla de fase a tierra será a través del cuerpo humano, terreno natural, electrodo de puesta a tierra, conductor del electrodo de puesta a tierra, conductor de fase, dispositivo de protección contra sobrecorriente, conductor de fase y tubería (conduit) metálica.

Se considera que la trayectoria de puesta a tierra tiene una impedancia de 10Ω . Se obtiene entonces una corriente de 12 A. Con este valor de corriente el dispositivo de protección contra sobrecorriente **NO** operará y **NO** liberará la falla, por lo que la persona se encuentra en **PELIGRO** de **MUERTE**, debido a que circulará una corriente eléctrica

por su cuerpo por tiempo indefinido. Para que no exista peligro de muerte en la persona, se deberá realizar lo siguiente:

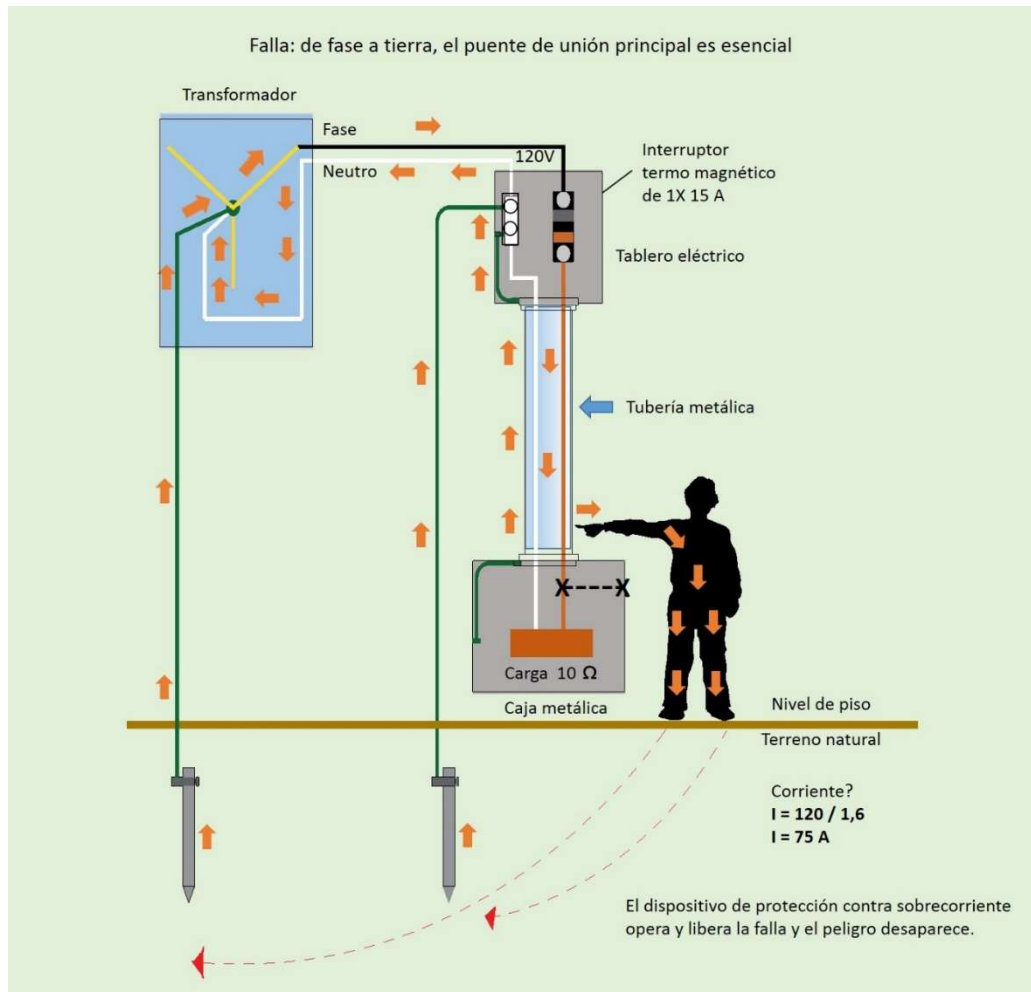


Figura 3.12 puesta a tierra del neutro e instalación del puente de unión principal; Oropeza A. (2013). *Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal*, pág. 19.

Ahora se instalará un electrodo de puesta a tierra en el primer medio de desconexión de la instalación eléctrica, en donde se instalará un conductor del electrodo de puesta a tierra que se unirá con el conductor puesto a tierra de la acometida y se unirá con el gabinete metálico. A esta unión se le llama **PUENTE DE UNIÓN PRINCIPAL**, ver Figura 3.12.

La tubería (conduit) metálica se utilizará como conductor de puesta a tierra.

Si ocurre un contacto eléctrico entre el conductor de fase y la canalización metálica provocará una falla de fase a tierra. Si una persona hace contacto con la tubería metálica y con el terreno natural, en el momento en que ocurre la falla de fase a tierra, la mayor parte de la corriente eléctrica de falla a tierra circulará a través de la tubería (conduit), que representa una trayectoria de menor impedancia y una menor parte de la corriente de falla a tierra por la persona, debido a que el transformador de alimentación se

encuentra puesto a tierra, por lo que la persona cerrará el circuito eléctrico a través del terreno natural.

Recordando que la corriente eléctrica de falla de fase a tierra debe regresar a su lugar de origen, la trayectoria de menor impedancia que tomará la corriente de falla de fase a tierra será a través de la tubería (conduit) metálica, puente de unión principal, conductor puesto a tierra de la acometida, conductor de fase, dispositivo de protección contra sobrecorriente, conductor de fase y tubería (conduit) metálica.

La otra trayectoria, de mayor impedancia, de retorno de la corriente eléctrica de falla de fase a tierra a su lugar de origen será por el cuerpo humano, terreno natural, electrodos de puesta a tierra, conductor del electrodo de puesta a tierra, conductor puesto a tierra.

Calculando la corriente, se considera que la trayectoria de puesta a tierra tiene una impedancia de 1.6Ω ; se obtiene una corriente de 75 A, con este valor de corriente el dispositivo de protección contra sobrecorriente deberá operar y librar la falla de fase a tierra, por lo que la persona **NO SE ENCUENTRA EN PELIGRO DE MUERTE**.

La función que tiene el puente de unión principal es la de unir el conductor de puesta a tierra y el conductor puesto a tierra de la acometida, para que la corriente de falla de fase a tierra llegue a su lugar de origen.

Si el puente de unión principal se omite, la corriente de falla de fase a tierra **NO** tendrá una trayectoria efectiva de menor impedancia por lo que la instalación eléctrica puede quedar en peligro de incendio y las **personas** que tengan contacto con las partes metálicas de la instalación eléctrica pudieran estar en **peligro de muerte**.

Después de analizar los conceptos básicos de la puesta a tierra se puede concluir que:

Un transformador debe ser puesto a tierra para:

- a) Estabilizar la tensión
- b) Protección contra descargas atmosféricas.
- c) Protección de falla a tierra, en el lado de alta tensión.

La instalación eléctrica debe ser puesta a tierra para:

- a) Protección contra descargas atmosféricas.
- b) Protección contra fallas a tierra a través del puente de unión principal, de los conductores de puesta a tierra y de la continuidad eléctrica de las canalizaciones.

3.6.3 Corriente de fibrilación.

Para entender las técnicas analíticas que involucran la puesta a tierra, es necesario entender las características de la parte más importante del circuito: **EL CUERPO HUMANO**.

La **corriente de fibrilación ventricular** es aquella que se produce al existir una diferencia de potencial entre dos partes del organismo. El **potencial tolerable del cuerpo humano** está en función de esta corriente, que al circular por el corazón, primeramente le produce una arritmia cardiaca, procediendo a detenerlo por completo **causándole la muerte**.

Una persona normal puede soportar una corriente de 1 miliamper, esta magnitud de corriente generalmente se percibe y es justo el momento en que se tiene conciencia de que circula una corriente por el cuerpo, normalmente en manos y dedos.

Las pruebas a lo largo del tiempo han establecido que los **efectos** de una **descarga eléctrica** son el resultado de la **corriente** y no de la tensión.

- De 1 a 6 miliamperes traen como consecuencia el engarrotamiento de los músculos, es decir, se pierde el control de los mismos.
- 10-25 miliamperes- causan dolor muscular.
- 100 miliamperes-causan **fibrilación ventricular**.

Altas corrientes pueden **parar el corazón completamente** o causar quemaduras eléctricas severas.

Los efectos de la corriente eléctrica pasando a través de las partes vitales del cuerpo humano dependen de la **duración, magnitud y frecuencia** de la **corriente**.

La consecuencia más peligrosa es exponer al corazón a una **fibrilación ventricular**, el resultado inmediato es que no habrá circulación de sangre. Los humanos somos muy vulnerables a los efectos de la corriente eléctrica con frecuencias a 50 y 60 Hz.

De acuerdo a los estudios realizados durante largo tiempo, se ha concluido que el cuerpo humano puede tolerar una corriente de 25 Hz y aproximadamente 5 veces más la corriente directa, así como que pueden ser toleradas corrientes altas, a frecuencias de 3000-10,000 Hz.

En algunos casos, el cuerpo humano también puede ser capaz de tolerar altas corrientes debido a descargas atmosféricas.

3.6.4 Sistema de tierras en baja tensión.

La **NOM-001-SEDE-2012** exige a los usuarios de la energía eléctrica tener su propia conexión a tierra. Esta conexión debe hacerse como parte de la instalación del usuario, en el lado del abastecimiento del medio de desconexión principal y no en el lado de la carga.

A pesar de este requisito, pocos usuarios de baja tensión tienen sus tierras instaladas, sin embargo, algunos usuarios que tienen equipos especiales, instalan sus tierras, tal y como lo exige la norma

La misma norma para instalaciones en baja tensión dice: El valor de la resistencia a tierra de los electrodos artificiales no debe ser superior a **25 Ω** , en las condiciones más desfavorables. Cuando no se pueda lograr esta resistencia con un solo electrodo, debe emplearse, cuando menos, un electrodo adicional.

Sin embargo, los fabricantes de equipos de cómputo, comunicaciones, etc., piden un valor de resistencia a tierra bastante menor que puede ser 1, 3 o 5 Ω para poder dar validez a las garantías y a la vez proteger equipos, esto se debe a que los equipos modernos que tienen componentes electrónicos se dañan fácilmente con las sobretensiones.

Los sistemas de tierra en baja tensión aparentemente son los más simples, ya que **NO** se diseñan con base en **potenciales de paso** o de **contacto**, sin embargo, es un hecho que la mayor parte de accidentes por este concepto ocurren en el hogar, en regaderas eléctricas, tinas de hidromasaje, equipos de baño, lavadoras, secadoras, etc.

3.6.5 Sistema de tierras para media tensión.

Es común que en subestaciones de mediana tensión (**13.8 KV, 23 KV, 34.5 KV**) se piense que con tener una resistencia a tierra baja es suficiente para proteger los equipos y al personal, sin embargo, existen factores que son determinantes y que si no se cumplen, el diseño no es adecuado ya que se pueden presentar potenciales peligrosos al momento de una falla de cortocircuito, algunos de esos factores son: la resistividad del terreno, la corriente de corto circuito, tamaño del local de la subestación, duración de la falla, geometría de la malla, etc.

Una red de tierras se forma por regla general por un conductor desnudo enterrado a una profundidad, que varía de 0.30 a 1.0 m, en forma horizontal, en forma rectangular, formando una malla y con conductores paralelos en ambos sentidos, con electrodos o varillas colocadas en las esquinas o en cualquier parte de la red. No es necesario que la malla tenga forma rectangular ya que la configuración puede adaptarse a las condiciones del terreno que ocupa la subestación.

3.6.5.1 Potenciales Tolerables y Peligrosos (de toque y de paso).

En la puesta a tierra de una subestación eléctrica tipo interior o abierta, se deberá realizar primero un diseño de la malla de tierra, basado en la IEE Std 80-2000 para la seguridad en una subestación de corriente alterna puesta a tierra, debido a que cuando ocurre una **falla a tierra** en los devanados de media tensión o alta tensión, la **corriente de falla a tierra** al tomar su **trayectoria de retorno a su lugar de origen** por el **terreno natural**

provocará una **tensión de paso** y **tensión de contacto** que **puede ser peligrosa** para el ser humano y los animales, ver Figura 3.13.

El diseño se debe basar en la protección del personal y los equipos, disipando las corrientes de falla a tierra sin elevar el potencial que se presenta más allá del permisible identificados como **potenciales de toque y de paso tolerables**.

El sistema de puesta a tierra para subestaciones eléctricas tiene como finalidad:

- Proveer los medios adecuados para transportar las corrientes eléctricas dentro de la tierra (terreno natural), bajo condiciones normales y de falla, sin exceder los límites de operación del equipo y sin afectar la continuidad del servicio.
- Asegurar que las personas en la vecindad de industrias con sistemas puestos a tierra no estén expuestas a peligros de descarga crítica.

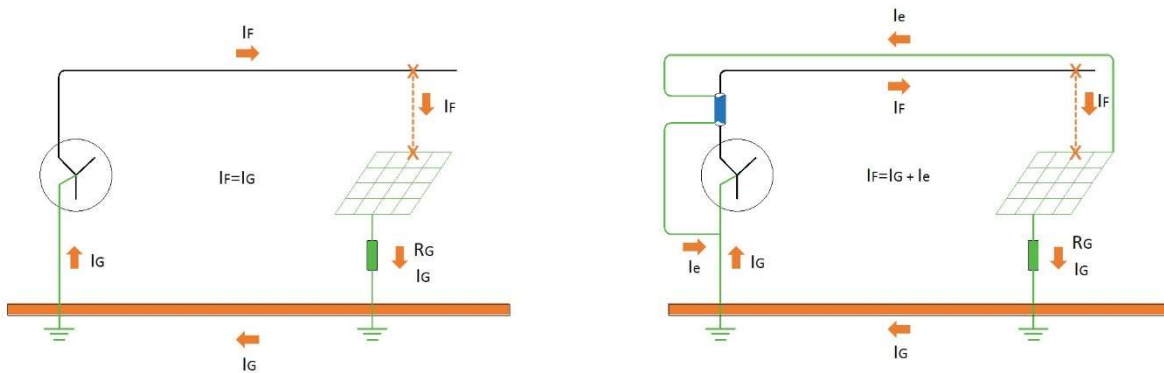


Figura 3.13 Falla a tierra en una subestación eléctrica; Oropeza A. (2013). *Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal*, pág. 99.

La práctica de la puesta a tierra segura, se esfuerza para controlar la interacción de dos sistemas de puesta a tierra:

- **La tierra intencional**, misma que consiste en los electrodos enterrados a la misma profundidad respecto de la superficie de la tierra.
- **La tierra accidental**, que es cuando una persona está expuesta temporalmente a un gradiente de potencial en la vecindad de una industria con un sistema puesto a tierra.

Si el sistema de puesta a tierra de una subestación eléctrica tiene una resistencia a tierra baja, no garantiza que sea segura.

Cuando la corriente de falla de fase a tierra entra a la tierra (suelo), causará que se presente un **potencial de paso** a tierra elevado. Por tal razón la corriente de falla a tierra que entra a la tierra (terreno natural) deberá analizarse.

Durante condiciones de falla a tierra, la corriente que circula por la tierra (suelo o terreno natural) producirá gradientes de potencial dentro y alrededor de la subestación eléctrica, ver Figura 3.14.

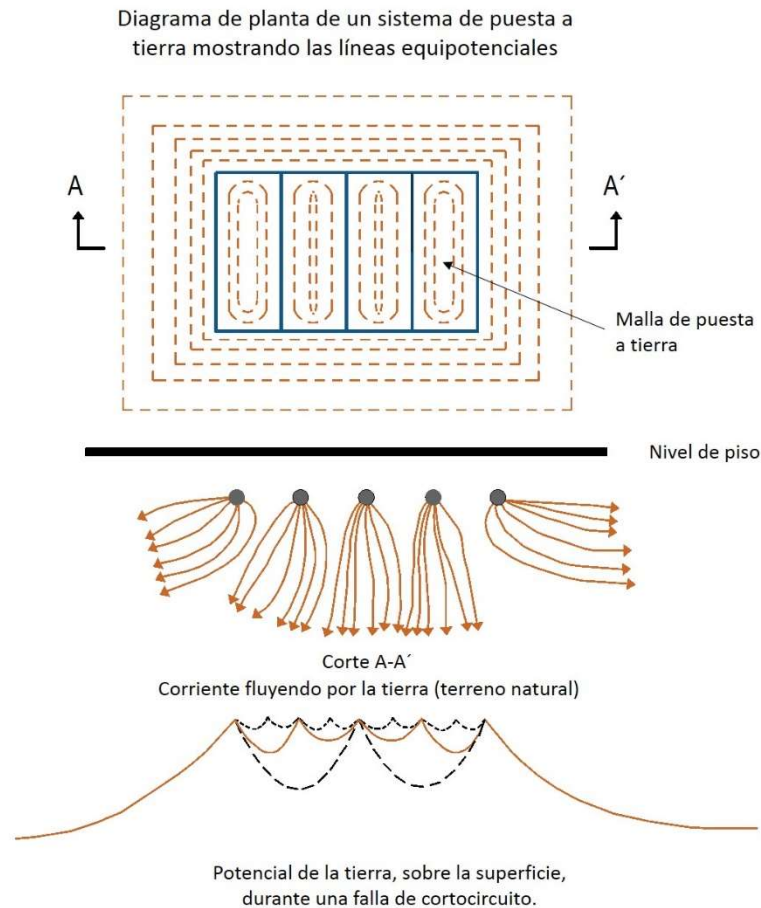


Figura 3.14 Gradientes de potencial en una malla de tierra. ; Oropeza A. (2013). *Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal*, pág. 100.

Los efectos que produce la corriente eléctrica que pasa a través del cuerpo humano depende de la **duración**, **magnitud** y **frecuencia**. La consecuencia más peligrosa es cuando el **corazón** esté **expuesto** a la condición de **fibrilación ventricular**.

Es muy significativo que los dispositivos de protección contra sobrecorriente liberen la falla a tierra lo más rápido que sea posible por las siguientes razones:

- Se reduce significativamente la posibilidad que una persona esté expuesta a una descarga eléctrica, en contraste a cuando las corrientes de falla a tierra que persisten o duran horas, trayendo como consecuencia el posible inicio de un incendio.
- Se reduce la posibilidad de daño o muerte de una persona si se reduce la duración de la corriente, que fluirá por el cuerpo humano.

La **magnitud** y la **duración** de la corriente eléctrica que pase a través del cuerpo humano a 50 o 60 Hz, deberá ser menor a la corriente que pudiera producir **fibrilación ventricular del corazón**. Basados en los estudios de **Daniel y LEE** se asume que el **99.5%** de las personas pueden estar seguras sin **fibrilación ventricular** aplicando la siguiente fórmula:

$$I_B = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} ; \text{ para personas con peso aproximado de 50 Kg}$$

Para $t_s = 1$ segundo, resulta un valor de corriente de 116 mA

Para $t_s = 0.1$ segundo, resulta un valor de corriente de 367 mA

$$I_B = \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} ; \text{ para personas con peso aproximado de 70 Kg}$$

Para $t_s = 1$ segundo, resulta un valor de corriente de 157 mA

Para $t_s = 0.1$ segundo, resulta un valor de corriente de 496 mA

3.6.5.1.1 Potencial de toque o de contacto máximo tolerables.

Este potencial se presenta cuando se toca una estructura por la cual circula una corriente de falla, ver Figura 3.15.

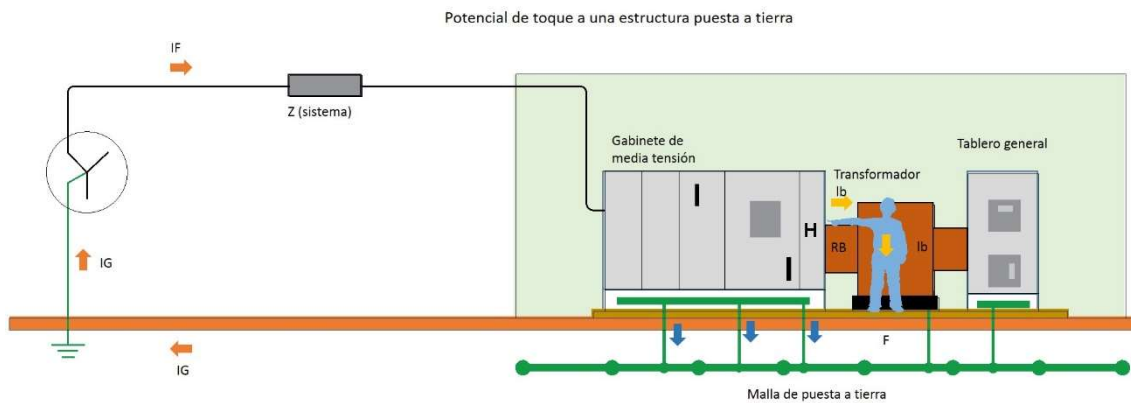


Figura 3.15 Potencial de toque en estructura puesta a tierra.

La **corriente tolerable** por el cuerpo humano, determinada en esta sección, se utiliza para definir la **tensión total tolerable** cuando ocurre una falla de cortocircuito a tierra.

La figura 3.15 muestra un circuito eléctrico, cuando ocurre una falla a tierra, la corriente de falla I_F circulará por el sistema de puesta a tierra de la subestación eléctrica y por la persona que se encuentra tocando en ese momento un gabinete puesto a tierra.

La corriente que circulará por el cuerpo humano I_b es igual a la **corriente tolerable** por el cuerpo humano I_B .

El punto **F** es un área pequeña sobre la superficie de la tierra que está en contacto a través de los dos pies. La corriente I_b circulará del punto **H** a través del cuerpo de la persona a tierra por el punto **F**

Tomando las consideraciones de corriente de fibrilación y de resistencia del cuerpo humano, el **potencial de toque que podemos soportar** está dado por la siguiente ecuación:

Potencial de toque tolerable = $(1000 + 1.5C_s * \rho_s) * \left[\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \right]$; para personas con peso aproximado de **50 Kg**(3.6.5.1)

Potencial de toque tolerable = $(1000 + 1.5C_s * \rho_s) * \left[\frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \right]$; para personas con peso aproximado de **70 Kg**.....(3.6.5.2)

Donde:

ρ_s = **Resistividad de la superficie del suelo en Ω - m** (por lo general es grava, tezontle o una tarima)

t_s = Duración de la falla en segundos.

C_s = Factor de reducción del valor nominal de la resistividad en la superficie (piso).

3.6.5.1.2 Potencial de paso máximo tolerable.

Es el potencial que puede soportar un individuo que se encuentra parado o caminando cerca del lugar de la falla, si se rebasa este potencial, se produce una contracción muscular en las piernas, es decir, no responden a los impulsos del cerebro y el individuo cae al piso, donde queda expuesto a las corrientes que circulan por el corazón, ver Figura 3.16.

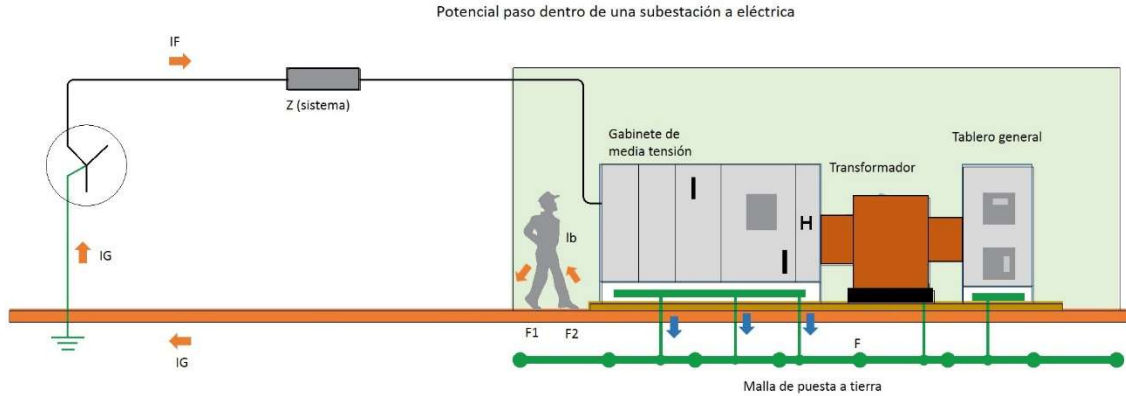


Figura 3.16 Potencial de paso; Oropeza A. (2013). Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal, pág. 102.

La Figura 3.16 muestra un circuito eléctrico cuando ocurre una falla a tierra, la corriente de falla I_F circulará por el sistema de puesta a tierra de la subestación eléctrica.

La corriente I_b circulará por uno de los pies F_2 de la persona al otro pie F_1 .

Los puntos F_1 y F_2 son áreas sobre la superficie de la tierra que están en contacto con los dos pies, respectivamente.

Tomando las consideraciones de corriente de fibrilación y de resistencia del cuerpo humano, el **potencial de paso que podemos soportar** está dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Potencial de paso tolerable} = (1000 + 6C_s * \rho_s) * \left[\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \right]; \text{ para personas con peso aproximado de } 50 \text{ Kg} \dots\dots\dots(3.6.5.3)$$

$$\text{Potencial de paso tolerable} = (1000 + 6C_s * \rho_s) * \left[\frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \right]; \text{ para personas con peso aproximado de } 70 \text{ Kg} \dots\dots\dots(3.6.5.4)$$

Donde:

ρ_s = Resistividad de la superficie del suelo en Ω - m (por lo general es grava, tezontle o una tarima)

t_s = Duración de la falla en segundos.

C_s = Factor de reducción del valor nominal de la resistividad en la superficie (piso)

$$C_s = 1 - \left[\frac{[0.09 * (1 - \frac{\rho_t}{\rho_s})]}{2H_s + 0.09} \right] \dots\dots\dots(3.6.5.5)$$

ρ_t = Resistividad del terreno (suelo) en Ohms-metro

H_s = Espesor del piso sobre el terreno

3.6.5.1.3 Potenciales peligrosos de toque y de paso.

Durante condiciones de **falla a tierra**, la corriente que circula por la tierra (suelo o terreno natural) al regresar a su lugar de origen, producirá gradientes de potencial dentro y alrededor de la subestación eléctrica y provocará un **potencial de paso** y un **potencial de contacto** elevados y en consecuencia **peligrosos** para el ser humano y los animales.

Por tal razón la corriente de falla a tierra que entra a la tierra (terreno natural) deberá analizarse de tal forma que el diseño de la red de tierras se base fundamentalmente en la protección del personal y los equipos que disipe las corrientes de falla a tierra sin elevar el potencial que se presenta más allá del permisible e identificados como **potenciales de toque y de paso tolerables**.

El **potencial de contacto** es la diferencia de potencial que se presenta entre la elevación de potencial de tierra (**GPR**) y el potencial de superficie en el punto en donde una persona está parada mientras al mismo tiempo está tocando con una de sus manos un elemento puesto a tierra.

Mientras que el **potencial de paso** es la diferencia de potencial superficial, que experimenta una persona entre sus pies cuando los pies están separados 1 m de distancia y la persona no está haciendo contacto con ningún otro elemento puesto a tierra.

Al ocurrir una falla a tierra en una subestación, la **TENSIÓN MÁXIMA** que se presenta dentro de la **mall**, en peor caso, es el conocido como **Potencial de Malla (GPR)**, por lo que este valor se puede usar como base para el diseño ya que este es igual al **Máximo Potencial de Toque**.

Cabe señalar que el **Potencial de Malla (GPR)** se incrementa ligeramente hacia las esquinas, dependiendo de factores como: tamaño de la red, número y localización de varillas, espacio entre conductores paralelos, diámetro y profundidad del conductor que forma la malla, etc. Por eso, es común reforzar la malla hacia las orillas, colocando los conductores más cerrados.

Generalmente, el **Potencial de Paso** es **menos peligroso** que el **Potencial de Toque o de Malla**, lo anterior se debe a que por regla general, se colocan en la superficie de las subestaciones materiales de alta resistividad, como: grava, tezontle, tarimas de madera, tapetes de hule, etc., ver Figura 3.16.

3.6.5.1.4 Potenciales transferidos.

Se producen cuando existen elementos metálicos que salen del lugar de la falla, como son rieles, hilo de guarda, tuberías, etc.

En condiciones normales, el equipo eléctrico que está puesto a tierra opera a nivel de voltaje cero o cercano al cero y este potencial es idéntico al de una **red remota**. Durante una condición de falla se eleva el potencial con respecto a la red remota, existiendo una diferencia de potencial, que es proporcional a la magnitud de la **corriente en la malla de tierras** y a su **resistencia**.

No es práctico e incluso es casi imposible diseñar un sistema de tierras con base en los **potenciales transferidos**, es más práctico aislar las tuberías o elementos metálicos que salen de las subestaciones.

Duración de la falla

Después de analizar las ecuaciones de **potenciales peligrosos** vemos que es muy importante **reducir el tiempo de falla**, la experiencia muestra que los casos de muerte por electrocución, por lo general, son por exposición a fallas de larga duración, el tiempo típico de apertura de interruptores es de medio segundo; sin embargo, se ha demostrado que el peligro de **fibrilación ventricular** disminuye con tiempos de falla de un tercio de segundo.

Por ello, es importante coordinar adecuadamente las protecciones y así librar en el menor tiempo posible la corriente de falla.

3.6.5.2 Parámetros necesarios para el cálculo de una red de tierras.

- **Máxima corriente de falla en el sistema de puesta a tierra de la subestación eléctrica.**

Este término es uno de los más importantes en el diseño de la malla, ya que un valor elevado de la corriente de falla a tierra requiere de un valor de resistencia a tierra muy bajo y un conductor de calibre más grueso.

El valor de la corriente de falla en la acometida del servicio, lo puede dar el suministrador de energía (para México es la Comisión Federal de Electricidad), sin embargo, también se puede calcular.

- **Tipos de fallas a tierra.**

Se deberá determinar cuál de los diferentes tipos de falla a tierra producirá la corriente más alta de falla a tierra, que circulará entre la malla de tierra y la tierra (terreno natural) que la rodea.

Diferentes fallas a tierra pueden ocurrir en un sistema eléctrico, por lo que se puede dificultar determinar el tipo y el lugar en donde ocurre la falla de más alto valor, porque no se aplican reglas sencillas, por lo que por razones prácticas, el cálculo se deberá realizar para **una falla de fase a tierra y para una falla de dos fases a tierra.**

En la mayoría de los casos es suficiente calcular la **corriente máxima en la malla de puesta a tierra** de la subestación I_G , despreciando la resistencia del sistema, la resistencia a tierra de la subestación y la resistencia de la falla.

Con esto el error que se introduce es pequeño, por lo que no se afecta la seguridad del sistema de puesta a tierra de la subestación.

La **corriente rms simétrica de malla** es una parte de la **corriente rms simétrica de falla a tierra** que circula entre la malla de puesta a tierra y el terreno que la rodea.

Cabe señalar que la I_G también es considerada como la **corriente máxima de falla en la malla de puesta a tierra.**

- **Efectos de cambios futuros.**

Es común que existan cambios en las configuraciones de los alimentadores, por lo que la corriente puede variar. Si la corriente de cortocircuito disminuye, no existe problema ya que el diseño estará del lado seguro, pero la probabilidad de que la corriente de cortocircuito aumente existe, por lo que hay que considerar un factor de aumento en la corriente de cortocircuito.

- **Resistencia de la malla a tierra.**

Este valor es tal vez el más importante en el diseño de una red de tierras, ya que, en una malla, el potencial que se presenta está en función de la corriente de cortocircuito y de la resistencia de la malla de tierras.

Un buen sistema de puesta a tierra deberá tener una baja resistencia para minimizar los potenciales que se presentan en la subestación eléctrica durante una falla a tierra.

3.6.5.3 Cálculo de la red de tierras del edificio público gubernamental.

Después de una inspección de protección civil de la Secretaría de Gobernación al sistema eléctrico del edificio gubernamental determinó que la resistencia a tierra de la red de tierras de la subestación era superior a **12.5 ohm** por lo que recomendó realizar el rediseño de la red a fin de lograr una resistencia a tierra no mayor a **5.0 ohm** y así asegurar las condiciones de seguridad para las personas que laboran en el edificio gubernamental.

3.6.5.3.1 Criterios de diseño

Para el cálculo de la malla de tierras en la subestación eléctrica, se emplea el método del Estandar 80 del IEEE, así como valores y constantes ahí indicados, que es la base de la Norma NRF-011-CFE, la cual a su vez es el método indicado por la **NOM-001-SEDE-2012** para cálculo de sistemas de tierras en plantas y subestaciones eléctricas.

A).- Consideraciones para el cálculo de la corriente máxima de falla de puesta a tierra de la Subestación.

El departamento de Planeación y Construcción, Zona Universidad de la Compañía suministradora de electricidad en México, mediante oficio de fecha 1 de abril de 2019, hizo del conocimiento que la **máxima corriente de falla** a tierra en la acometida del servicio eléctrico al edificio público gubernamental objeto de este trabajo es de **9,749.0 Amperes**.

El tipo de terreno donde está instalada la red de tierras es **suelo con boleos o suelo rocoso** por lo que su resistividad según tablas es ρ_t de **500 Ω -m**.

La **corriente máxima de falla en la malla de puesta a tierra I_G** se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I_G = D_f \times I_g \dots\dots\dots(3.6.5.6)$$

I_G = Corriente rms simétrica de malla o máxima corriente de malla (corriente de falla a tierra corregida por el factor de asimetría D_f), en Amperes.

D_f = Factor de división de corriente o Factor de decremento para un tiempo de duración t_s de la falla (asimétrica), en segundos, ya que en el diseño de la malla de puesta a tierra se debe considerar la corriente asimétrica, el factor de decremento D_f toma en cuenta el efecto de desplazamiento de la componente de corriente directa., en Amperes.

I_g = Máxima corriente simétrica rms de falla a tierra, en amperes.

El **factor de división de la corriente de falla** es el factor que representa el inverso del valor de la corriente de falla simétrica a una parte de la corriente que circula entre la malla de puesta a tierra y el terreno que la rodea y está dado por:

$$D_f = \frac{I_g}{3 \times I_0} \dots\dots\dots(3.6.5.7)$$

$$I_g = 3 \times I_0$$

I_0 = Corriente rms simétrica de secuencia cero en Amperes

De la expresión anterior

$$D_f = \sqrt{1 + \left(\frac{T_A}{t_s}\right)[1 - e^{-2t_s/T_A}]} \dots\dots\dots(3.6.5.8)$$

t_s = Tiempo de duración o despeje de la corriente de falla en segundos.

T_A = Constante de tiempo subtransitoria, en segundos.

Tabla 3.11.- Constantes del material (Std-80, IEEE-2009)

Descripción	Conductividad del material (%)	α_r Factor a 20 °C	K_0 ($1/\alpha_0$) a 0 °C	Temperatura de fusión (°C)	ρ_r a 20 °C ($\mu\Omega$)/cm3	TCAP Valor efectivo J/cm3/°C
Alambre de cobre suave estandar	100.0	0.00393	234	1,083	1.7241	3.422
Alambre de cobre duro comercial	97.0	0.00381	242	1,084	1.7774	3.422
Cobre estañado con alma de acero	40.0	0.00378	245	1,084/300	4.397	3.846
Alambre de aluminio comercial	61.0	0.00403	228	657	2.862	2.556
Alambre de aluminio estañado con alma de acero	20.3	0.00360	250	600/1300	8.4805	2.670
Alambre de acero cubierto con zinc	8.5	0.00320	293	419/1300	20.1	3.931
Acero	2.4	0.00130	749	1400	72.00	4.032

Tabla 3.12.- Datos

$A_{Kcm} =$	Sección transversal del conductor en Kcircular mills	
$I_g =$	Máxima corriente simétrica rms de falla a tierra	9,749.0 A
$I_G =$	Corriente de falla a tierra corregida por factor de asimetría en Kamperes $I_G = I_g * D_f / 1000$	(por calcular, en kA)
$D_f =$	Factor de decremento (asimetría)	(por calcular)
$T_m =$	Temperatura máxima permisible en el conductor en °C	1083 °C (de la tabla 3.11)
$T_a =$	Temperatura ambiente promedio en °C	30 °C
$t_s =$	Tiempo de duración o despeje de la corriente de falla en segundos (s)	0.5 s
$\alpha_r =$	Coefficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia T_r en 1/°C	0.00393 (de la tabla 3.11)
$\rho_r =$	Resistividad del conductor de tierra a la temperatura de referencia T_r en MicroOhms-cm	1.7241 (de la tabla 3.11)
$K_0 =$	$(1/\rho_r) - T_r$ en 1/°C	234 (de la tabla 3.11)
TCAP=	Factor de capacidad térmica por unidad de volumen en J/(cm3 * °C)	3.422 (de la tabla 3.11)
T_A	Constante de tiempo subtransitoria, en segundos	0.0143

- **Calculando el factor de decremento, sustituyendo en ecuación (3.6.5.8)**

$$D_f = \sqrt{1 + \left[\left(\frac{0.0143}{0.5} \right) (1 - e^{-2*0.5/0.0143}) \right]} = \sqrt{1 + (0.0286)[1 - e^{-69.93}]} = \sqrt{1 + (0.0286)[1 - 4.2637e^{-31}]} = \sqrt{1 + (0.0286)[1]} = \sqrt{1 - 0.04914} = \sqrt{1 + 0.0286} = \sqrt{1.0286} = \underline{\underline{1.0142}}$$

- **Calculando la corriente máxima de falla en la malla de puesta a tierra, sustituyendo estos valores en ecuación (3.6.5.6), en kiloamperes:**

$$I_G = I_g * D_f / 1000 = (9,749.0 * 1.0142) / 1000 = \underline{\underline{9.8874358 \text{ kA}}}$$

B).- Cálculo del calibre del conductor necesario para la malla de tierras.

$$A_{Kcm} = \frac{I_G * 197.4352}{\sqrt{\left[\frac{TCAP}{t_s * \alpha_r * \rho_r} \right] * \ln \left[\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a} \right]}} \dots \dots \dots (3.6.5.9)$$

Sustituyendo valores en ecuación (3.6.5.9):

$$A_{Kcm} = \frac{I_G * 197.4352}{\sqrt{\left[\frac{TCAP}{t_s * a_r * \rho_r}\right] * L_n\left[\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_d}\right]}} = \frac{9.8874 * 197.4352}{\sqrt{\left[\frac{3.422}{0.5 * 0.00393 * 1.7241}\right] * L_n\left[\frac{234 + 1083}{234 + 30}\right]}} = \frac{1,952.12}{\sqrt{\left[\frac{3.422}{0.00338786}\right] * L_n\left[\frac{1317}{264}\right]}} =$$

$$\frac{1,952.12}{\sqrt{[1,010.10101] * L_n[4.99]}} = \frac{1,952.12}{\sqrt{1,623.3965}} = \frac{1,952.12}{40.2913} = 48.4501617 \text{ KCmills} = 48,450.16 \text{ Cmills}$$

Si 1 mm² = 1970 Circular mil

$$A_{Kcm} = 48,450.16 / 1970 = \underline{\underline{24.593989 \text{ mm}^2}}$$

El valor comercial inmediato superior al resultado obtenido, corresponde a un calibre **3 AWG (26.7 mm²)**, que es el calibre necesario para soportar la corriente de falla, sin embargo, debido a que está sometido a posibles daños físicos y a requerimientos normativos se usará cable desnudo calibre **4/0 AWG (107.2 mm²)**.

C.- Cálculo de los potenciales de paso y de toque tolerables.

Cálculo de los potenciales de paso tolerables, recurriendo a las ecuaciones (3.6.5.3) y (3.6.5.4).

$$E_{50 Kg} - \text{paso tolerable} = (1000 + 6C_s * \rho_s) * \left[\frac{0.116}{\sqrt{t_s}}\right];$$

$$E_{70 Kg} - \text{paso tolerable} = (1000 + 6C_s * \rho_s) * \left[\frac{0.157}{\sqrt{t_s}}\right];$$

Donde:

C_s = Factor de reducción del valor nominal de la resistividad de la superficie (piso de concreto)

ρ_t = Resistividad del terreno (suelo rocoso) = **500 Ω-m**

ρ_s = Resistividad en la superficie del piso (concreto) = **10,000 Ω-m**

H_s = Espesor del piso sobre el terreno = **0.2 m**

t_s = Duración de la falla en segundos = **0.5 seg**

Como primer punto se calculará el valor del factor de reducción del valor nominal de la resistividad en la superficie del piso C_s .

Sustituyendo valores en la ecuación (3.6.5.5):

$$C_s = 1 - \left[\frac{0.09 * (1 - \frac{\rho_t}{\rho_s})}{2H_s + 0.09} \right] = 1 - \left[\frac{0.09 * (1 - \frac{500}{10,000})}{(2 * 0.2) + 0.09} \right] = 1 - \left[\frac{0.09 * (1 - 0.05)}{0.49} \right] = 1 - \left[\frac{0.09 * (0.95)}{0.49} \right] = 1 - 0.174$$

$$C_s = \underline{\underline{0.825}}$$

Cálculo de potenciales de paso tolerables, sustituyendo valores en ecuaciones (3.6.5.3) y (3.6.5.4):

$$E_{50 Kg} - \underline{\underline{\text{paso tolerable}}} = (1000 + 6C_s * \rho_s) * \left[\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \right] = [1000 + (6 * 0.825 * 10,000)] * \left[\frac{0.116}{\sqrt{0.5}} \right] = 50,500 * 0.164048 = \underline{\underline{8,284.424 V.}}$$

$E_{50 Kg} = 8,284.424$ Volts (Potencial de paso tolerable para personas con peso aproximado de 50 Kg)

$$E_{70 Kg} - \underline{\underline{\text{paso tolerable}}} = (1000 + 6C_s * \rho_s) * \left[\frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \right] = [1000 + (6 * 0.825 * 10,000)] * \left[\frac{0.157}{\sqrt{0.5}} \right] = 50,500 * 0.222031 = \underline{\underline{11,212.56 V.}}$$

$E_{70 Kg} = 11,212.56$ Volts (Potencial de paso tolerable para personas con peso aproximado de 70 Kg)

- **Cálculo de potencial de toque tolerables.**

Sustituyendo valores en ecuaciones (3.6.5.1) y (3.6.5.2).

$$E_{50 Kg} - \underline{\underline{\text{toque tolerable}}} = (1000 + 1.5C_s * \rho_s) * \left[\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \right] = [1000 + (1.5 * 0.825 * 10,000)] * \left[\frac{0.116}{\sqrt{0.5}} \right] = 13,375 * 0.164048 = \underline{\underline{2,194.142 V.}}$$

$E_{50 Kg} = 2,194.142$ Volts (Potencial de toque tolerable para personas con peso aproximado de 50 Kg)

$$E_{70 Kg} - \text{toque tolerable} = (1000 + 1.5C_s * \rho_s) * \left[\frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \right] = [1000 + (1.5 * 0.825 * 10,000)] * \left[\frac{0.157}{\sqrt{0.5}} \right] = 13,375 * 0.222031 = \underline{\underline{2,969.67 V.}}$$

$E_{70 Kg} = 2,969.67$ Volts (Potencial de toque tolerable para personas con peso aproximado de 70 Kg)

D.- Diseño inicial de la malla.

Después de llevar a cabo el levantamiento físico de la red de tierras original de la subestación del edificio gubernamental, misma que de acuerdo a las mediciones del personal de protección civil de la Secretaría de Gobernación, arrojó un nivel de resistencia a tierra superior a **12.5 ohm**, se obtuvieron los siguientes valores.

La malla está construida en el sótano 4 del edificio gubernamental en un área de 82.0 m x 34.0 m, la retícula estaba formada por conductor desnudo calibre 4/0 AWG, con electrodos de puesta a tierra hincados sólo en el perímetro a cada 2.0 m, y conectores soldables en todas las intercepciones.

Tabla 3.13.- Datos de malla original.

Concepto	Cantidad	Longitud	Longitud total	Total de origen
Conductores de mayor longitud	35	82.0 m	2,870.0 m	5,692.0 m de conductor desnudo de 470 AWG
Conductores de menor longitud	83	34.0 m	2,822.0 m	
No electrodos	En el lado que mide 82.0 m; 41 + 1 = 42 electrodos x 2 lados = 84 electrodos. En el lado que mide 34.0 m; 17-2 = 15 electrodos x 2 lados = 30 electrodos.	2.44 m cada electrodo.	114.0 x 2.44 = 278.16 m por concepto de electrodos de origen	114 electrodos de 2.44 m cada uno

Toda vez que el sótano 4 mide 120.0 m en su lado más largo y con el propósito de incrementar el área de disipación de las corrientes de falla a tierra y a la vez reducir la resistencia de la red de tierras a tierra menor o igual a 5 ohms, mi propuesta fue la de ampliar la malla en 20.0 m en su lado más largo, para tener una malla de 102.0 m por 34.0 m, con conductores separados a un metro y los electrodos instalados a cada 2.0 m en área ampliada.

Tabla 3.14.- Datos de la ampliación a la malla original (20 metros adicionales en su lado largo).

Concepto	Cantidad	Longitud	Longitud total adicional	Total adicional	
Conductores en el lado largo de la malla ampliada.	35	20.0 m	700.0 m	1,380.0 m de conductor desnudo adicional de 4/0= AWG	
Conductores en el lado corto de la malla ampliada	20	34.0 m	680.0 m		
No. electrodos adicionales	Dado que se colocarán electrodos a cada 2.0 m, el área de ampliación consta de 17 + 1= 18 tramos de 20.0 metros. En cada tramo caben 10 electrodos por, por lo que 18 x 10 = 180 electrodos adicionales.		2.44.0 m	439.2 m por concepto de electrodos de adicionales.	180.0 electrodos adicionales.

Se considera una malla de **102.0 m** de largo y **34.0 m** de ancho, con **35** conductores en el sentido de mayor longitud y **103** en el sentido de menor longitud, según arreglo de la Figura 3.17

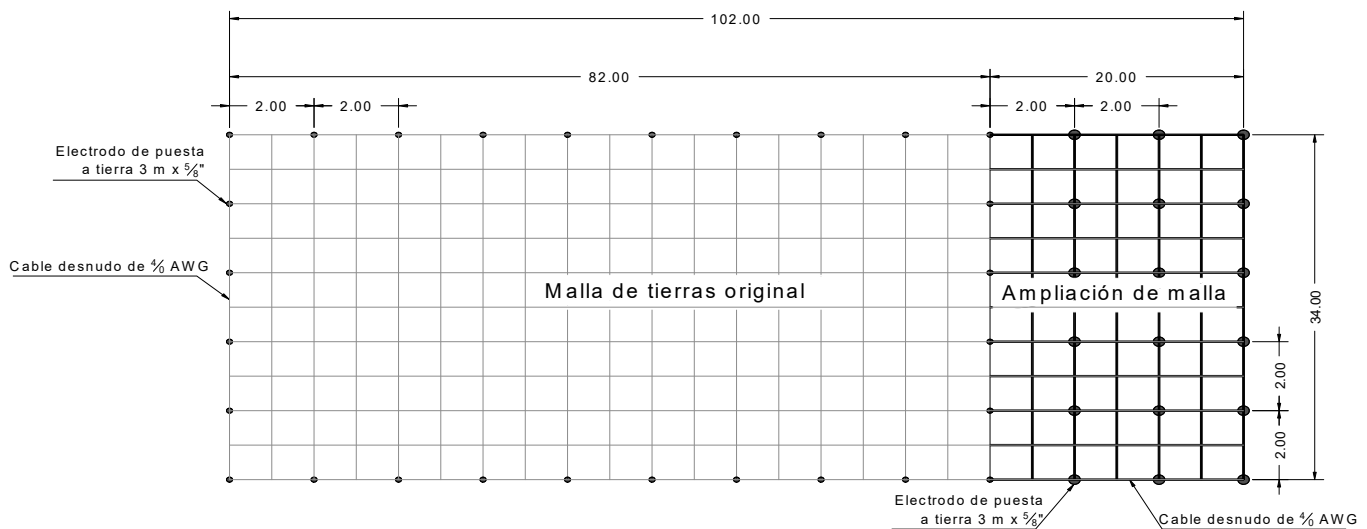
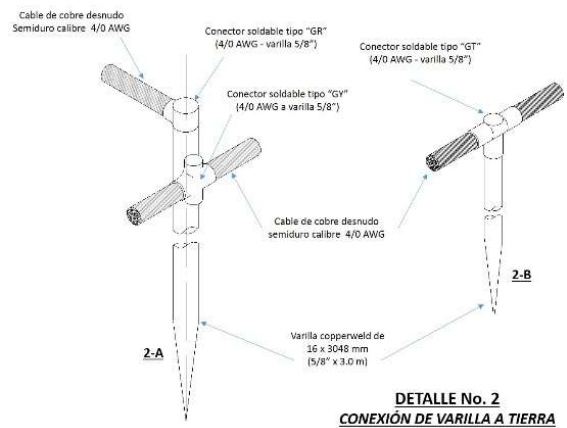
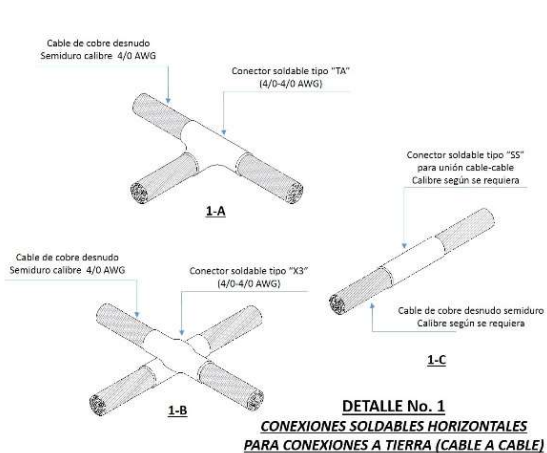
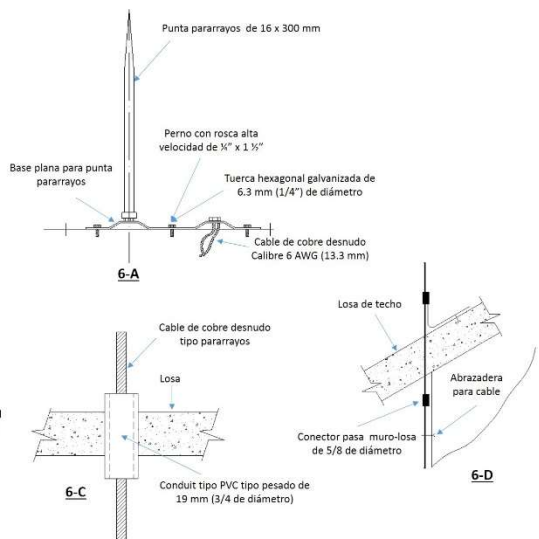
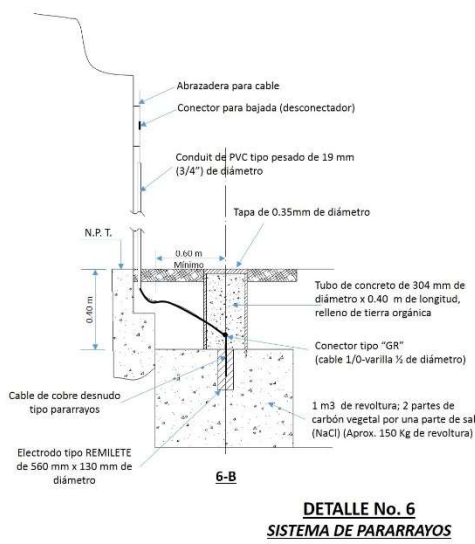
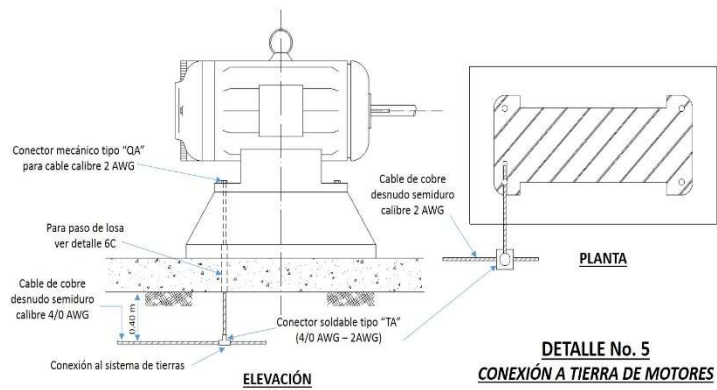
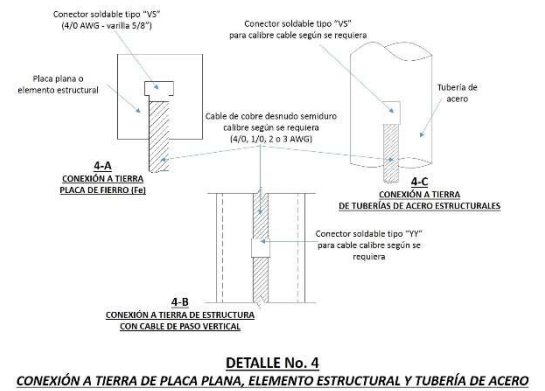
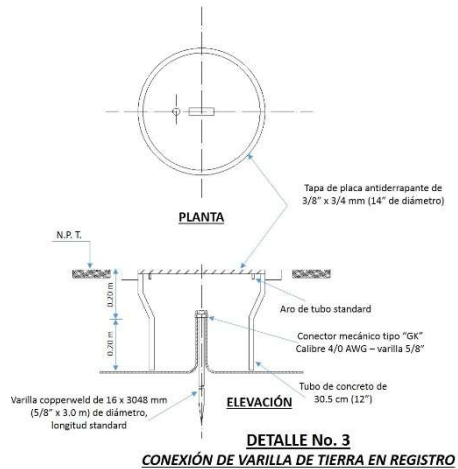


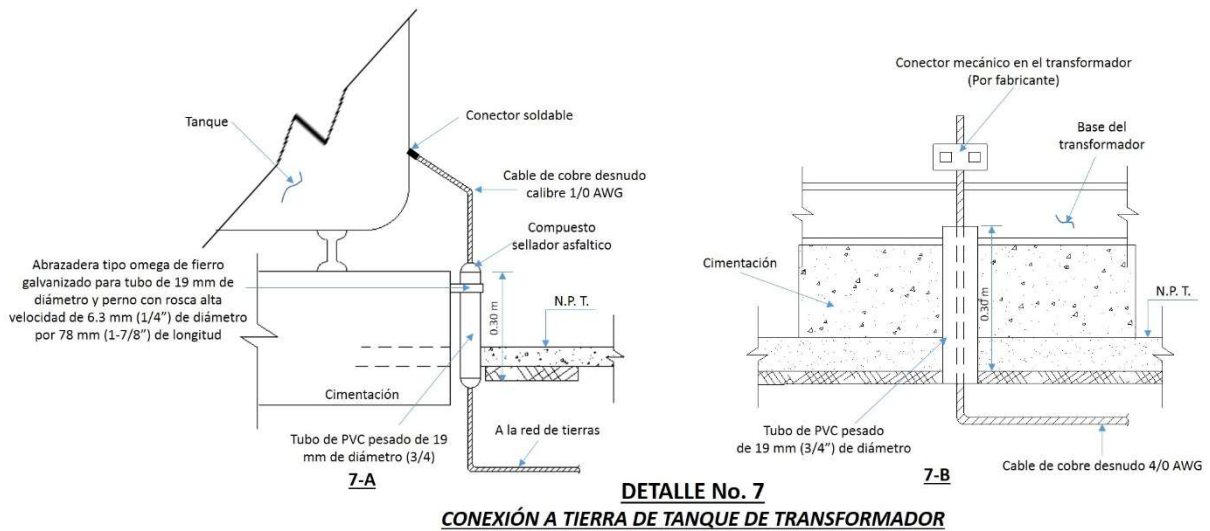
Figura 3.17 Arreglo de malla.

Tabla 3.15.- Dimensiones para malla propuesta, incluyendo el área ampliada.

Número de conductores de mayor longitud	35.0
Longitud de los conductores de mayor longitud	102.00 m
Número de conductores de menor longitud	103.0
Largo de conductores de menor longitud	34.0 m
Longitud total de los conductores de mayor longitud	35 x 102 = 3,570.0 m
Longitud total de los conductores de menor longitud	103 x 34 = 3,502.0 m
Profundidad del conductor de la malla de puesta a tierra	0.80 m
Número de electrodos de 3.0 m de longitud y 21 3/8" de diámetro	294
Longitud de total de los electrodos	294 x 3.0 = 882.0 m
Tensión del sistema	23.0 KV
Frecuencia del sistema	60 Hz
$K_0 = 1/\text{coeficiente térmico de resistividad a } 0 \text{ }^\circ\text{C}$	234 $^\circ\text{C}$
$A_m = \text{Área total ocupada por la malla}$	3,468.0 m ²
$\rho_t = \text{Resistividad del terreno}$	500 $\Omega\text{-m}$
$\rho_s = \text{Resistividad en la superficie del piso (concreto)}$	10,000 $\Omega\text{-m}$
$H_s = \text{Espesor del piso sobre el terreno}$	0.20 m
$D_f = \text{Factor de decremento (asimetría)}$	1.1337 (calculado)
$F_c = \text{Factor de crecimiento de instalaciones}$	1.0
Geometría de la malla	Rectangular
A = Sección transversal del conductor, necesario en Circular Mills	107.2 mm² (4/0 AWG)







E.- Cálculo de la resistencia a tierra de la malla, en Ohms

Este valor es tal vez el más importante en el diseño de una red de tierras, ya que, en una malla, el potencial que se presenta está en función de la corriente de cortocircuito y de la resistencia de la malla de tierras.

Un buen sistema de puesta a tierra deberá tener una baja resistencia para minimizar los potenciales que se presentan en la subestación eléctrica durante una falla a tierra.

En forma práctica para subestaciones grandes, el valor de resistencia a tierra debe ser alrededor de 1 Ω o menos y para subestaciones de distribución un valor aceptable va de 1 a 5 Ω , dependiendo de las condiciones del local y su contenido, además, debe cumplir con valores aceptables de potencial de paso y de toque.

La estimación de la resistencia total es uno de los primeros pasos para determinar el tamaño y arreglo básico del sistema de puesta a tierra.

La resistencia depende del área ocupada por el sistema de puesta a tierra, la cual es conocida desde que se inicia el proyecto eléctrico.

Conociendo el valor de la resistividad del suelo, una aproximación del valor del sistema de puesta a tierra puede calcularse por medio de la fórmula siguiente:

$$R_g = \rho_t \left[\left(\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \right) \left[1 + \frac{1}{1 + \left[h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}} \right]} \right] \right] \dots \dots \dots (3.6.5.10)$$

De la expresión anterior:

R_g = Resistencia a tierra de la malla en Ohms

ρ_t = Resistividad del terreno (suelo rocoso) = **500 Ω -m**

L_T = Longitud Total de la malla, incluye cable y electrodos = **7,954 m** (3,570 +3,502 +882)

A = Área ocupada por la malla de tierras = **3, 468.0 m²**

h = Profundidad de enterramiento de la malla = **0.80 m**

a = diámetro del conductor **4/0 = 0.013 m**

Sustituyendo en ecuación (3.6.5.10)

$$R_g = \rho_t \left[\left(\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \right) \left[1 + \frac{1}{1 + \left[h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}} \right]} \right] \right] = 500 * \left[\left(\frac{1}{7,954} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 3,468}} \right) \left[1 + \frac{1}{1 + \left[0.8 \cdot \sqrt{\frac{20}{3,468}} \right]} \right] \right]$$

$$R_g = 500 * [(0.0001257 + 0.003797) * [1.94272]] = 500 [(0.0039227) * [1.94272]] = **3.8103 Ω**$$

Se observa que el valor obtenido es adecuado, ya que su valor es menor a **5 Ω** , que es el requerido de acuerdo a la Tabla 921-25 (b) del artículo 921-25 (b) de la NOM-001-SEDE-2012

Recordemos que la **corriente máxima de malla I_G** , fue calculada con la ecuación (3.6.5.6) y fue de:

$$I_G = I_g * D_f = 9,749.0 * 1.0142 = **9,887.4358 A**$$

F.- Cálculo del Potencial Máximo que se presenta en la malla (GPR) o Tensión de Toque más desfavorable.

De acuerdo al Estándar 80, al ocurrir una falla a tierra en una subestación, el voltaje máximo que se presenta en la malla (**GPR**) y que a la vez es el peor caso, es el determinado como el producto de $I_G * R_g$. Por lo que es necesario comparar el potencial

GPR con el **potencial tolerable de toque**, de tal forma que si $GPR < E_{Toque\ tolerable}$ para personas de **50 y 70 Kg**, el diseño está concluido, en caso contrario se debe realizar una evaluación de la malla más a fondo.

Sí el producto de la corriente de falla por el valor de la resistencia a tierra de la malla es menor que el voltaje de toque tolerable, quiere decir que al producirse una falla en el sistema, el voltaje máximo que se presenta no dañará a los equipos ni a las personas que se encuentren en el lugar.

$$GPR = I_G * R_g = 9,887.4358 * 3.8103 = \underline{\underline{37,674.85\ V}}$$

Comparando este valor con los valores previamente determinados

Recordemos que:

$$E_{50\ Kg} = 2,194.142\ \text{Volts (Potencial de toque tolerable para personas con peso aproximado de 50 Kg)}$$

$$E_{70\ Kg} = 2,969.67\ \text{Volts (Potencial de toque tolerable para personas con peso aproximado de 70 Kg)}$$

Dado que $GPR > E_{Toque\ tolerable}$ es necesario llevar a cabo una evaluación más completa del potencial de malla E_m

G.- Cálculo del Potencial Máximo de Contacto (o de Malla o potencial de malla en el centro de la esquina) E_m .

Los valores del potencial de contacto son obtenidos por el producto del factor geométrico K_m , el factor de corrección K_i , la resistividad del suelo ρ_t y la corriente promedio por unidad de longitud del conductor enterrado del sistema de puesta a tierra (I_G / L_M).

$$E_m = \frac{\rho_t K_m K_i I_G}{L_M} \dots\dots\dots(3.6.5.11)$$

E_m = Potencial máximo de contacto o tensión de malla en el centro de la esquina en **V**.

ρ_t = Resistividad del suelo en **$\Omega\cdot m$** (para este trabajo el suelo es rocoso con boleos = **500 $\Omega\cdot m$**)

K_m = Factor de espaciamiento para tensión de malla o factor geométrico.

K_i = Factor de corrección por irregularidad en la geometría de la malla.

I_G = Corriente máxima de malla (9,887.4358 A)

L_M = Longitud total o **longitud efectiva** del conductor enterrado del sistema de tierras considerando la longitud total de los electrodos de puesta a tierra en metros.

Para mallas de tierra con electrodos de puesta a tierra en las esquinas y a lo largo de su perímetro y dentro de la malla de tierra, la **longitud efectiva enterrada** es:

$$L_m = L_C + [1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{(L_x)^2 + (L_y)^2}} \right)] * L_R \dots\dots\dots(3.6.5.12)$$

L_C = Longitud total del conductor de la malla, **sin** considerar electrodos = **7,072.0 m**

L_r = Longitud de un electrodo de tierra = **3.0 m**

L_x = Longitud de los conductores en el eje "X" = **102.0 m**

L_y = Longitud de los conductores en el eje "Y" = **34.0 m**

L_p = Longitud perimetral de la malla de tierra = **(102 x 2) + (34x 2) = 272.0 m**

L_R = Longitud total de los electrodos de puesta a tierra = **882.0 m** (3.0 m X 294 electrodos)

Sustituyendo en ecuación (3.6.5.12)

$$L_m = L_C + [1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{(L_x)^2 + (L_y)^2}} \right)] * L_R = 7,072 + [1.55 + 1.22 \left(\frac{3}{\sqrt{(102)^2 + (34)^2}} \right)] * 882$$

$$L_m = 7,072 + [1.5503]*882 = \underline{\underline{8,439.37 m}}$$

- El factor geométrico de espaciamiento K_m está dado por la siguiente ecuación:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[L_n \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} + \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} L_n \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \dots\dots\dots(3.6.5.13)$$

D = Espaciamiento entre conductores paralelos de mayor longitud de la malla en metros=**1.0 m**.

h = Profundidad de la malla en metros = **0.80 m**.

d = diámetro del conductor de la malla de puesta a tierra del calibre 4/0 AWG = 0.013 m

K_{ii} = Factor de corrección de peso, que ajusta los efectos de los conductores internos de la esquina de la malla a **1 m** en diagonal hacia fuera de la malla, en **V**

n = Número de conductores paralelos de la malla, en **metros**

Para mallas de tierra con electrodos de puesta a tierra a lo largo del perímetro o malla de tierra con electrodos de puesta a tierra en las esquinas, así como también a lo largo del perímetro y dentro del área de la malla.

$$K_{ii} = 1$$

K_h = Factor de corrección de peso que enfatiza los efectos de la profundidad de la malla, está dado por la ecuación:

$$K_h = \sqrt{\left(1 + \frac{h}{h_0}\right)} \dots\dots\dots(3.6.5.14)$$

Donde:

$h_0 = 1 \text{ m}$ (profundidad de referencia de la malla de tierra)

Substituyendo en ecuación (3.6.5.14):

$$K_h = \sqrt{\left(1 + \frac{h}{h_0}\right)} = \sqrt{\left(1 + \frac{0.8}{1}\right)} = \sqrt{(1 + 0.8)} = 1.34164$$

$$\frac{K_{ii}}{K_h} = \frac{1}{1.34164} = 0.7453$$

El número efectivo de conductores paralelos en una malla “**n**”, puede aplicarse a mallas de tierra rectangulares o irregulares y representa el número de conductores en paralelo de una malla de tierra rectangular equivalente, para ello utilizaremos la siguiente ecuación

$$\mathbf{n} = \mathbf{n_a} \times \mathbf{n_b} \times \mathbf{n_c} \times \mathbf{n_d} \dots\dots\dots(3.6.5.15)$$

Donde:

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p} \dots\dots\dots(3.6.5.16)$$

Sustituyendo en ecuación (3.6.5.16)

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p} ; \frac{2*7,072.0}{272.0} = \frac{14,144.0}{272.0} = 52$$

$n_b = 1$ para mallas de tierras cuadradas.

Pero para **mallas de tierras rectangulares aplica la siguiente ecuación:**

$$n_b = \sqrt{\left(\frac{L_p}{4*\sqrt{A}}\right)} \dots\dots\dots(3.6.5.17)$$

A = Área de la malla = 3,468.0 m²

Sustituyendo en ecuación (3.6.5.17):

$$n_b = \sqrt{\left(\frac{L_p}{4*\sqrt{A}}\right)} = \sqrt{\left(\frac{272}{4*\sqrt{3,468}}\right)} = \sqrt{\left(\frac{272}{235.5589}\right)} = 1.0745$$

$n_c = 1$ para mallas de tierras cuadradas y rectangulares (Std. 80-2000, IEEE)

$n_d = 1$ para mallas de tierras cuadradas y rectangulares y en forma de **L** (Std. 80-2000, IEEE)

Sustituyendo en ecuación (3.6.5.15):

$$n = n_a \times n_b \times n_c \times n_d = 52 * 1.0745 * 1 * 1 = \underline{\underline{55.874}}$$

Determinando el factor geométrico " K_m ", sustituyendo en ecuación (3.6.5.13):

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[L_n \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} L_n \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot 3.14159} \left[L_n \left(\frac{(1)^2}{16 \cdot 0.8 \cdot 0.013} + \frac{(1+2 \cdot 0.8)^2}{8 \cdot 1 \cdot 0.013} - \frac{0.8}{4 \cdot 0.013} \right) + 0.7453 \cdot L_n \frac{8}{3.14159 \cdot (2 \cdot 55.874 - 1)} \right]$$

$$K_m = 0.159 \cdot \left[L_n \left(\frac{1}{0.1664} + \frac{6.76}{0.104} - \frac{0.8}{0.052} \right) + 0.7453 \cdot L_n \frac{8}{347.9248} \right]$$

$$K_m = 0.159 \cdot [L_n(6.0096 + 65 - 15.3846) + (0.7453 \cdot L_n 0.02299)]$$

$$K_m = 0.159 \cdot [L_n(55.62498) - 2.81179] = 0.159 \cdot [4.018632 - 2.81179] = 0.159 \cdot 1.206842 = \underline{\underline{0.1918}}$$

- Determinación de factor de corrección por irregularidad en la geometría de la malla " K_i ", definido por la siguiente ecuación:

$$K_i = 0.644 + 0.148 n \dots\dots\dots(3.6.5.18)$$

n = número de conductores basado en espaciamento, **n = 55.874**

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n = 0.644 + 0.148 \cdot 55.874 = \underline{\underline{8.913}}$$

- Calculando el potencial máximo de malla o de contacto E_m

Sustituyendo en ecuación (3.6.5.11)

$$E_m = \frac{\rho_t K_m K_i I_G}{L_M} = \frac{500 \cdot 0.1918 \cdot 8.913 \cdot 9,887.4358}{8,439.37} = \frac{8,451,352}{8,439.37} = \underline{\underline{1,001.4197 V}}$$

H.- Comparación del Potencial de Malla " E_m " con el Potencial de Toque tolerable

LA PRIMER CONDICIÓN QUE DEBE CUMPLIRSE PARA QUE LA MALLA DE TIERRAS SEA SEGURA ES QUE EL Potencial de Malla E_m < Potencial de Toque Tolerable.

No perdamos de vista que el Potencial de Malla $E_m = 1,001.4197 \text{ V}$

Comparando este valor con los valores previamente determinados

$E_{50 \text{ Kg}} = 2, 194.142 \text{ Volts}$ (Potencial de toque tolerable para personas con peso aproximado de **50 Kg**)

$E_{70 \text{ Kg}} = 2,969.67 \text{ Volts}$ (Potencial de toque tolerable para personas con peso aproximado de **70 Kg**)

Dado que se cumple esta primera condición, se procede a calcular la **Tensión Máxima de Paso** en el área de la malla E_p

- **Calculando el Potencial Máximo de Paso, en Volts E_p**

El **potencial de paso** se obtiene por el producto del factor geométrico K_p , el factor de corrección K_i , la resistividad del suelo ρ_t y la corriente promedio por unidad de longitud del conductor enterrado del sistema de puesta a tierra de la subestación (I_G / L_s).

$$E_p = \frac{\rho_t K_p K_i I_G}{L_s} \dots\dots\dots(3.6.5.19)$$

E_p = Potencial de paso entre un punto sobre la esquina exterior de la malla y un punto a 1 m diagonalmente.

ρ_t = Resistividad del terreno (suelo con boleos o rocoso) = **500 Ω -m**

K_p = Factor de espaciamiento para potencial de paso.

K_i = Factor de corrección por irregularidad en la geometría de la malla = **8.913**

I_G = Corriente máxima de malla, o corriente de falla a tierra corregida por factor de asimetría **9,887. 4358 A.**

L_s = **Longitud efectiva o total** del conductor enterrado considerando la longitud de los electrodos de puesta a tierra en m.

L_C = Longitud total del conductor de la malla, sin considerar electrodos = **7,072.0 m**

L_R = Longitud total de los electrodos de puesta a tierra = **882 m** (3.0 m X 294 electrodos)

D = Espaciamiento entre conductores de mayor longitud paralelos de la malla = **1.0 m**.

h = Profundidad de la malla = **0.8 m**.

n = Factor geométrico = **55.874**

$$L_S = 0.75 * L_C + 0.85 * L_R \dots\dots\dots (3.6.5.20)$$

Sustituyendo en ecuación (3.6.5.20)

$$L_S = 0.75 * L_C + 0.85 * L_R = 0.75 * 7,072 + 0.85 * 882 = 5,304 + 749.7 = \underline{\underline{6,053.70}}$$

Se asume que el **máximo potencial de paso** ocurre a una distancia de **1 metro**, en el exterior del conductor perimetral y se extiende sobre la bisectriz del ángulo que forma la esquina de la malla de tierra.

Para una profundidad de malla de tierra $0.25 \text{ m} < h < 2.5 \text{ m}$, el factor de geométrico K_p está dado por la siguiente ecuación:

$$K_p = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]; \dots\dots\dots (3.6.5.21)$$

Sustituyendo en ecuación (3.6.5.21)

$$K_p = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] = \frac{1}{3.14159} \left[\frac{1}{2*0.8} + \frac{1}{1+0.8} + \frac{1}{1} * (1 - 0.5^{55.874-2}) \right] = 0.3183*(0.625 + 0.5555 + 1 * (1 - 0.5^{53.874})) = 0.3183*(2.1805 - 1) = \underline{\underline{0.37575}}$$

$$K_p = \underline{\underline{0.37575}}$$

Como ya calculamos K_i

$$K_i = 0.644 + 0.148*n = 0.644 + 0.148 * 55.874 = \underline{\underline{8.913}}$$

Sustituyendo en ecuación (3.6.5.19)

$$E_p = \frac{\rho_t K_p K_i I_G}{L_S} = \frac{500 * 0.37575 * 8.913 * 9,887.4358}{6,053.70} = \frac{16,556,806.6}{6,053.70} = \underline{\underline{2,734.9896 \text{ V}}}$$

LA SEGUNDA CONDICIÓN QUE DEBE CUMPLIRSE PARA QUE LA MALLA DE TIERRAS SEA SEGURA ES QUE EL Potencial de Paso Máximo de Malla $E_p <$ Potencial de Paso Tolerable

Recordemos que el Potencial de Paso Máximo de Malla $E_p = \underline{\underline{2,734.9896 \text{ V}}}$

Comparando este valor con los valores previamente determinados

$E_{50 \text{ Kg}} = 8, 284.424 \text{ Volts}$ (Potencial de paso tolerable para personas con peso aproximado de **50 Kg**)

$E_{70 \text{ Kg}} = 11, 212.56 \text{ Volts}$ (Potencial de paso tolerable para personas con peso aproximado de **70 Kg**)

DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS SE APRECIA QUE LOS VALORES CALCULADOS DE TENSIONES DE TOQUE Y PASO DESCRITOS, SON INFERIORES A LOS VALORES MÁXIMOS TOLERABLES, POR LO QUE LA RED DE TIERRAS DISEÑADA ES SEGURA PARA LAS PERSONAS.

ADICIONAL A LO ANTERIOR, SE CONCLUYE QUE EL DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA PROPUESTO PARA EL EDIFICIO GUBERNAMENTAL, PRESENTA UNA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA DE **3.8130 Ω** VALOR MENOR A **5.0 Ω** , POR LO QUE CUMPLE CON EL REQUERIMIENTO DE DISEÑO SOLICITADO y SE TOMA COMO DEFINITIVO EL DISEÑO PROPUESTO.

CAPÍTULO 4. Selección de Materiales

En la selección de los materiales y equipos en la instalación eléctrica del edificio gubernamental objeto de este trabajo, se tuvo el cuidado de que fueran de primera calidad, nuevos, de marca reconocida y que cumplieran con las disposiciones de las Normas Oficiales Mexicanas y a falta de éstas, con las Normas Internacionales, de esto último de las del país de origen o a falta de éstas, de las del fabricante.

4.1.- Conductores para baja tensión.

Los conductores que se utilizaron en los circuitos derivados de alumbrado, contactos normales, contactos regulados, fueron cable de cobre suave recocido, con tamaños en la escala **AWG** y por tratarse de una instalación interior o en áreas secas su aislamiento fue del tipo **THW**, para operar a una tensión nominal de 600 V, a una temperatura ambiente de 30 °C y a una temperatura máxima de 75 °C.

La decisión de utilizar conductores de **cobre** se debió a que, después de la plata, es el mejor conductor eléctrico, se le emplea en más del 90% en la fabricación de conductores eléctricos y porque reúne las condiciones de:

- Alta conductividad.
- Alta resistencia mecánica.
- Alta flexibilidad y.
- Es de bajo costo.

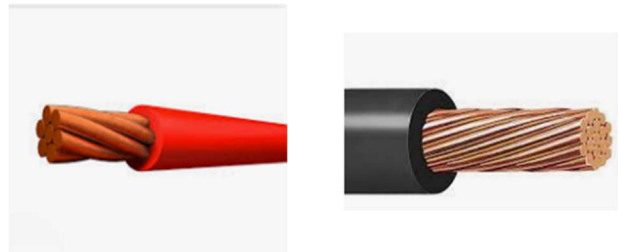


Figura 4.1 Constitución de un cable eléctrico. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 14.

Por otra parte, se tomó la decisión de considerar conductores con aislamiento de goma **THW** del inglés (Termoplastic Heat Water), dado que con ello se tiene un aislamiento termoplástico resistente al calor y a la humedad. Con este aislamiento, los conductores tienen mayor capacidad de conducción que con **TW**, ocupan eso sí mayor espacio dentro de los ductos, pero se les considera el mismo si se respeta el factor de relleno.

El factor de relleno puede definirse como la relación del área utilizable con respecto al 100% dentro de las canalizaciones artículo **342** de la **NOM-001-SEDE-2012**.

4.2.- Tubería Conduit tipo semipesado y accesorios metálicos.

Los tubos y conexiones que se utilizaron fueron rígidos, de fierro galvanizado, de sección circular pared gruesa, cuyo objeto es alojar y proteger mecánicamente a los conductores eléctricos, lo anterior de acuerdo al artículo **342** de la **NOM-001-SEDE-2012**.

Para empalmar, dar salida o poder jalar los conductores alojados en las tuberías Conduit, se emplearon cóndulets. Los monitores, contratuercas y abrazaderas que rigidizan en su conjunto a la tubería Conduit, cumplieron los requisitos establecidos en el artículo **314** de la **NOM-001-SEDE-2012**.



Figura 4.2 Tubos y conexiones de fierro galvanizado pared gruesa.

4.3 Apagadores y receptáculos.

En la instalación eléctrica se emplearon apagadores tipo balancín, con capacidad para transmitir, establecer o interrumpir la circulación de corriente de circuitos de alumbrado de 15 A y una tensión de operación de 127 V.

Tanto para el sistema de contactos de corriente normal como para el de corriente regulada se emplearon receptáculos monofásicos, para una tensión de operación de 127 V, dúplex, polarizados con conexión a tierra y placa no metálica (la correspondiente al sistema de corriente regulada de color naranja), de acuerdo al artículo **100** de la **NOM-001-SEDE-2012**.



Placa con apagadores tipo balancín



Placa con contactos dúplex normales



Placa con contactos dúplex de corriente regulada

Figura 4.3 Apagadores, contactos de corriente normal y contactos de corriente regulada.

4.4 Lámpara y luminaria en áreas administrativas.

La meta del nuevo sistema de iluminación, además de reducir el consumo de potencia, era la de proporcionar a las personas que laboran en las actividades administrativas, un nivel de iluminación que les permita realizar su trabajo sin el menor esfuerzo visual, poder desplazarse de un área a otra sin ningún riesgo, sin que se perdieran cualidades visuales como colores y textura de los muebles y muros. En términos generales, crear una atmósfera de desempeño, confort y seguridad para que el personal realice con mayor eficiencia su trabajo.

La luminaria sería colocada en una retícula de plafón falso en vanos de 60 x 60 cm. Para ello se eligió una lámpara a base de LED (Diodo Emisor de Luz) de **9 W**, porque tiene una aceptable reproducción del color y es más eficiente, energéticamente hablando, que las fluorescentes T-5, con un flujo luminoso de **800 Lúmenes** por lámpara.

La luminaria seleccionada es la Modelo KROMOS LED de 60 x 60 cm, tipo empotrar, con tensión de operación a 127-220 VCA \pm 10%, 4000 °K, consumo de potencia $3 \times 9 \text{ W} = 27 \text{ W}$ totales, a 60 Hz, con consumo de corriente 0.36 A. El flujo luminoso de las **3 lámparas** en cada luminaria es de **3 x 800 Lm = 2,400 Lúmenes**.

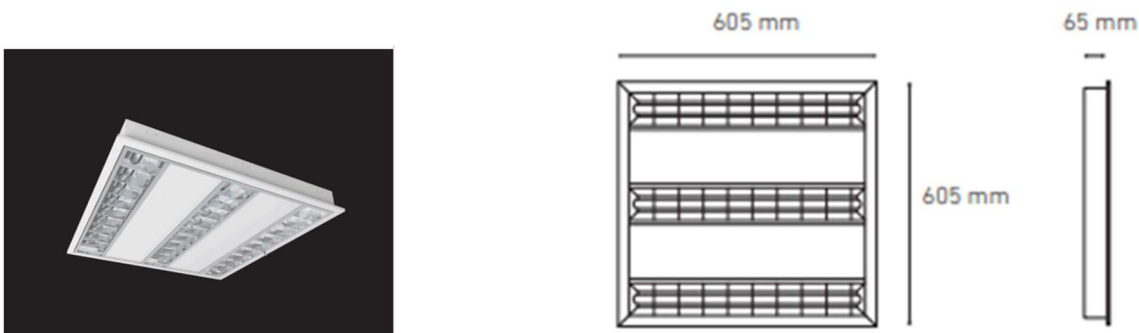


Figura 4.4 Luminaria KROMOS LED.

4.4.1 Qué es el LED.

Cuando Albert Einstein recibió el premio Nobel de física en 1921 no fue por su teoría de la relatividad, sino por un estudio aparentemente más modesto: el efecto fotoeléctrico.

Einstein describió cómo algunos materiales, al ser sometidos a una corriente eléctrica, emiten luz de una frecuencia determinada (es decir, es de un sólo color), que depende del tipo de material. También existe el efecto contrario, que hace que los paneles fotovoltaicos produzcan electricidad al exponerlos a la luz.

La palabra LED viene del inglés Light Emitting Diode, que traducido al español es Diodo Emisor de Luz.

Un diodo es un componente electrónico que permite el paso de la corriente en un solo sentido, en sentido contrario no deja pasar la corriente. En el sentido en que su conexión permite pasar la corriente se comporta como un interruptor cerrado y en el sentido contrario de conexión, como un interruptor abierto.

De esta forma, un LED, es un diodo a base de semiconductores que además de permitir el paso de la corriente en un solo sentido, cuando los electrones pasan a través del semiconductor, se convierten en luz.

O también se puede decir que cuando un diodo LED se encuentra polarizado directamente emite luz.

4.4.2 Estructura del LED

El LED tiene una estructura en la que podemos destacar 4 componentes básicos. Estos son (ver Figura 4.5):

1. Material emisor, el cual es una combinación de materiales semiconductores, montado sobre un chip-reflectora, que posee la propiedad de emitir fotones de luz de diferentes colores cuando los recorre una corriente eléctrica. El material semiconductor es el que determina el color de la luz.
2. Poseen dos postes conductores, el poste corto se llama cátodo y el poste largo se llama ánodo. Éstos poseen polaridad (siendo el ánodo el terminal positivo y el cátodo el terminal negativo), por lo que funcionan únicamente al ser polarizados en directo.
3. El cable conductor a través del cual se unen los dos polos.
4. Una lente que protege al material emisor del LED y determina el haz de la luz.

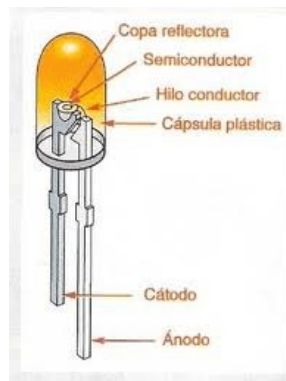


Figura 4.5 Eduardo Piñones. (2020). Estructura de un LED. 08/2020, de PCBWay Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=jr6tcXnDHlo>

4.4.3 Cómo funciona el LED?

Este es el símbolo que se usa para los diodos LED en los esquemas eléctricos, donde el ánodo será el poste largo y el corto el cátodo.



Figura 4.6 Eduardo Piñones. (2020). Polarización Directa de un LED. 08/2020, de PCBWay Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=jr6tcXnDHlo>

Cuando se conecta un diodo en el sentido que permite el paso de la corriente y se emita la luz, se dice que está polarizado directamente.

Para ello se debe conectar el poste largo del LED (ánodo) al polo positivo de la fuente y el poste corto (cátodo) al polo negativo de la fuente, de esta forma circulará la corriente por el semiconductor y se generará la luz. De lo que se trata es del envío de energía a través de los materiales conductores.

Para crear el diodo LED, se unen dos regiones: N y P. En la juntura de las regiones se forma una barrera potencial cuya función es impedir el paso de los electrones de la región N a la P cuando no se encuentran debidamente polarizados y los electrones no poseen la suficiente energía para atravesarla.

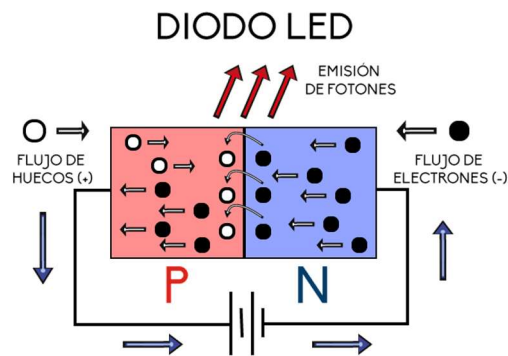


Figura 4.7 Eduardo Piñones. (2020). Funcionamiento del LED. 08/2020, de PCBWay Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=jr6tcXnDHlo>

Cuando le aplicamos tensión que permite polarizar directamente a los extremos de un LED, los electrones que provienen de la fuente de suministro de corriente directa comienzan a fluir.

Cada vez que un electrón en exceso con carga negativa presente en la región N adquiere energía para poder vencer la resistencia que le ofrece la barrera de potencial, la atraviesa y se combina con un hueco positivo en exceso en la región P. En el mismo instante que ocurre esa combinación, la energía en exceso que adquirió el electrón para poder atravesar la barrera de potencial, se transforma en energía electromagnética, que se libera en forma de un **fotón de luz**.

Tratando de explicar de otra forma este procedimiento, cuando la electricidad pasa a través del diodo, los átomos del primer material semiconductor (contenido en un chip-reflecter) se excitan a un gran nivel. En ese momento los átomos de este material almacenan una gran cantidad de energía y requieren liberarla. Esta energía libera electrones al segundo material dentro del chip-reflecter y, durante esta liberación, se produce la luz.

En otras palabras, **la electroluminiscencia** se da cuando, estimuladas por un diferencial de tensión, las cargas eléctricas negativas (electrones) y las cargas eléctricas positivas, al combinarse entre sí, dan como resultado la liberación de energía **en forma de fotones**.

Es importante destacar que los LED trabajan con tensiones de alrededor de 2 volts, lo que significa que si deseamos hacer una conexión con una tensión diferente, se debe conectar una resistencia en serie con él y de esta manera, parte de la tensión se quede en la resistencia y al LED solo le queden los 2 volts.

4.4.4 Qué hace que el LED emita colores?

Dependiendo del material que esté hecho el semiconductor, este emitirá una luz de un color o de otro. Así podemos obtener diodos led que emitan luces de diferentes colores (aluminio, galio, indio, fosforo, etc). El color puede ser incluso invisible para el ojo humano, como los LED infrarrojos que hay en el mando a distancia del televisor.

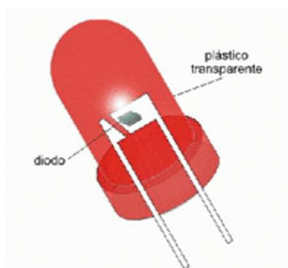


Figura 4.8 Eduardo Piñones. (2020). El LED. 08/2020, de PCBWay Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=jr6tcXnDHIo>

Los LED de colores o también conocidos como **RGB (Red, Green, Blue)**, son aquellos que tienen 3 pares de semiconductores, seleccionados específicamente para producir cada color. Cabe destacar que los colores que se generan son colores primarios (Rojo, Verde y Azul). Si controlamos esta mezcla de colores, podemos obtener una gama inmensa de colores en los LED. Para controlar los colores solo se debe pasar más o menos **corriente** por uno u otro semiconductor. Por ejemplo, si solo pasa corriente por el semiconductor de color rojo y por el verde el color que obtendremos es el amarillo.

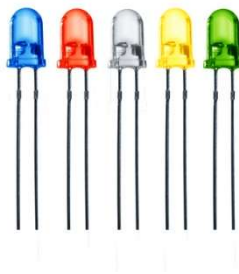


Figura 4.9 Eduardo Piñones. (2020). Colores del LED. 08/2020, de PCBWay Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=jr6tcXnDHlo>

Si los diodos LED son tan antiguos, ¿por qué no se habían popularizado antes?. El problema es precisamente el color. Los diodos rojos y verdes eran muy fáciles y baratos de producir, pero los azules no. Todo cambió en 1993 cuando el investigador Shuji Nakamura descubrió un proceso más barato de fabricación con dos compuestos: Nitruro de Galio y nitruro de Indio, que son los que se utilizan en la actualidad.

El descubrimiento de los LED azules abrió la puerta a la iluminación doméstica, pantallas de ordenador más ligeras y luces de discoteca más espectaculares, que pueden adoptar cualquier color y controlarse con un PC, y también a una avalancha de pilotos azules en electrodomésticos y coches.

Para conseguir luz blanca hay que mezclar en partes iguales luz roja, verde y azul. Se puede hacer el experimento de mirar de cerca una parte blanca de la pantalla del ordenador, y se comprobará que está compuesta de diminutos puntos de estos colores. Al alejarse, se ve el color blanco.

4.4.5 Ventajas de las bombillas y lámparas con diodos LED

Dos son las grandes ventajas de los LED

1.- La primera es que **consumen menos energía que las lámparas convencionales**. Es decir; son más eficientes en convertir la energía en luz, ya que la conversión energética se da con mucho menos pérdida en forma de calor, como sí ocurre con las **bombillas incandescentes y fluorescentes** tradicionales.

Las bombillas normales emiten luz pero también calor. El calor es energía que perdemos (lo que queremos es luz no calor). Cabe señalar que los LED también pierden energía en forma de calor pero en cantidades mucho menores. Esto hace que casi toda la energía que consumen se utilice en dar luz y no calor, con el consiguiente ahorro.

El 80% de la energía que consume un LED se transforma en luz, sin embargo, las bombillas convencionales solo transforman el 20% en luz de lo que consumen, todo lo demás se vuelve calor.

Equivalencias:

- Una bombilla **LED** de 5w da luz equivalente a una de 25w incandescente (las bombillas de filamento normales).
- Una bombilla LED de 10W da la misma luz que una bombilla normal de 60w.
- Una bombilla LED de 12w sería equivalente a las incandescentes de 75W.
- Una bombilla Led de 15w equivale a una de 100w incandescente.
- Una bombilla Led de 30w equivale a una de 200w incandescente.

Un lumen es la unidad usada para expresar la cantidad de luz que es capaz de generar una bombilla. La siguiente fórmula nos dice los **lúmenes aproximados de las bombillas LED; Lúmenes reales = al No. de watts x 70**.

Para que podamos comparar, una bombilla normal (incandescente) de 60w **produce entre 700 y 800 lúmenes** y una de 100w unos **1,300 lúmenes**.

2.- Otra ventaja es que **las bombillas o lámparas LED suelen tener** mucho más vida útil, **el tiempo de duración es mucho mayor**. Mientras que una bombilla incandescente normal cuenta con una vida útil de unas **1,000 horas y una fluorescente de 5,000 horas, funcionando 3 horas al día, la vida útil** de un LED es superior a las 100,000 horas de luz, estamos hablando de 11 años de continua emisión lumínica, es decir; **100 veces** más que las **lámparas incandescentes** y **20 veces** más que las de **tubo fluorescente**.

Por lo que **las bombillas o lámparas LED** están llamadas a hacer desaparecer la bombilla incandescente, de hecho, desde el año 2012 se dejó de fabricar la tecnología incandescente.

3.- Otras ventajas de las lámparas a base de diodos LED

- **Tamaño:** a igual luminosidad, un diodo LED ocupa menos espacio que una bombilla incandescente o fluorescente.

- **Luminosidad:** los diodos LED son más brillantes que una bombilla y además, la luz no se concentra en un punto (como el filamento de la bombilla) sino que todo el diodo brilla por igual.
- **Consumo:** un semáforo que sustituya las bombillas por diodos LED consumirá 10 veces menos con la misma luminosidad.

La tecnología LED actualmente es un poco cara respecto a las lámparas tradicionales, sin embargo, han estado bajando a precios accesibles. En otras aplicaciones donde la duración y el consumo sí son factores importantes, como los semáforos, la iluminación de aviones o las linternas que se usan en deportes de riesgo (como la alta montaña, la espeleología y otros), donde esta tecnología de iluminación ha encontrado, por el momento, uno de sus principales mercados.

4.5 Sistema de tierra.

Los criterios para el rediseño de la red de tierras de la subestación se efectuó de acuerdo al artículo 250 de la **NOM-001-SEDE-2012** y al **Estandar IEEE Std.80-2000**.

Para la conformación de la retícula adicional al sistema de tierras, se recomendó continuar con cable de cobre desnudo, calibre 4/0 AWG, temple semiduro, en capas concéntricas de 7 hilos a una temperatura de operación de 75 °C, electrodos de puesta a tierra a base de varillas acero recubiertos con cobre, de 3.0 m de longitud por 5/8" de diámetro, con conectores de soldadura exotérmica de cobre a cobre (soldables) para la malla, electrodos y equipos, registros de medición con tubo y tapa.



Electrodo de puesta a tierra



Cable de cobre desnudo 7 hilos



Conectores de soldadura exotérmica



Figura 4.10 Conexiones exotérmicas para el sistema de tierras.

4.6 Protección contra sobrecorrientes (sobrecarga, cortocircuito y fallas a tierra) de circuitos de alimentación principales y derivados.

Los circuitos alimentadores y derivados se **protegeron contra sobrecorrientes** por sobrecarga, cortocircuito y fallas a tierra a través de interruptores automáticos de tiempo inverso, ubicados en el punto en el que los conductores reciben su alimentación de acuerdo a los artículos 215-3, 240 parte **A** y 240-21 (para alimentadores principales) y para circuitos derivados de acuerdo a los artículos 210-20 y 240-21 de la **NOM-001-SEDE-2012**.

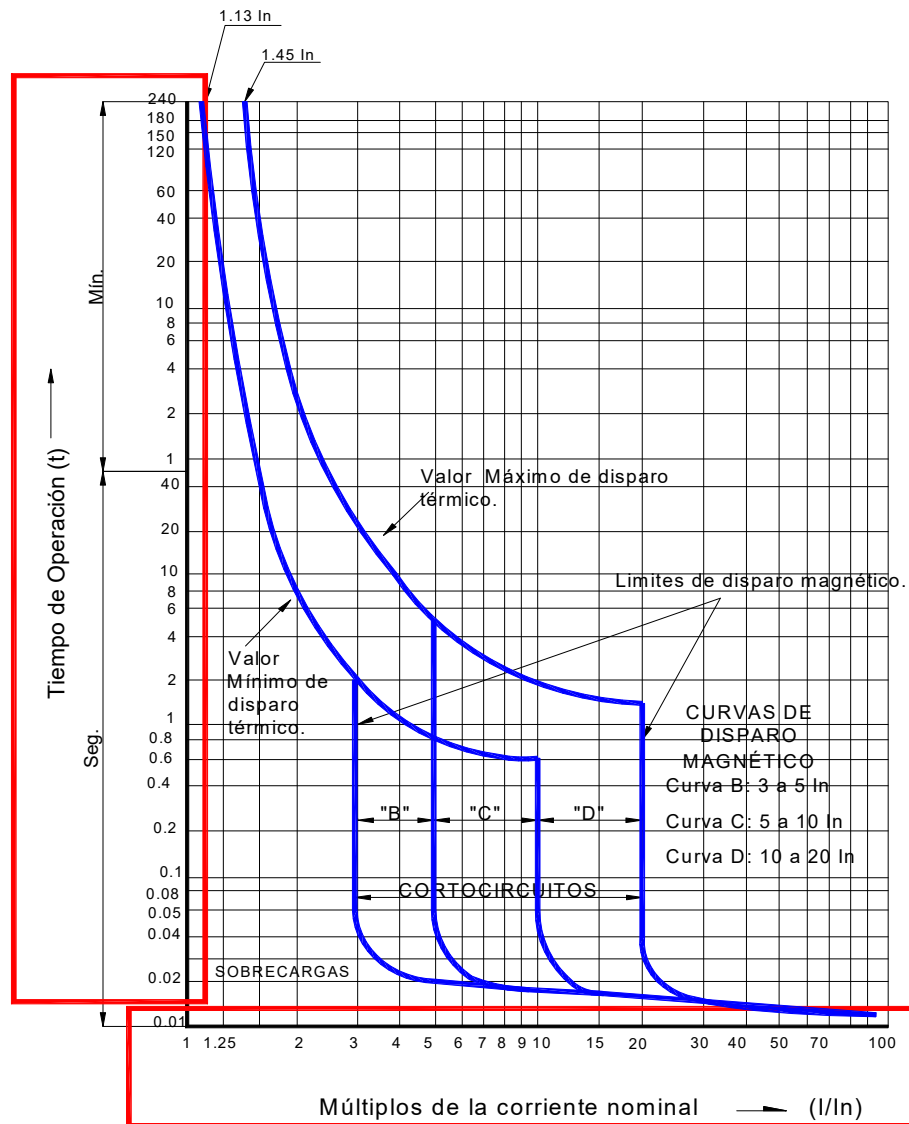


Figura 4.11 Curvas que muestran una combinación corriente/tiempo que producen el disparo del interruptor

Estos dispositivos abrirán el circuito, si la corriente alcanza un valor que cause una temperatura excesiva o peligrosa en los conductores o en su aislamiento.

El “tiempo de disparo” generalmente es inversamente proporcional al cuadrado de la corriente (“disparo” llamado «a tiempo inverso»).

Retardo deliberado en la acción de disparo del interruptor automático, retardo que disminuye a medida que aumenta la magnitud de la corriente.

CAPÍTULO 5. Participación Profesional

Diagnóstico del sistema eléctrico:

A carencia de planos del sistema eléctrico del inmueble y para llevar a cabo el diagnóstico de la condición inicial del mismo, como primer paso realicé el levantamiento físico de las condiciones en las que se encontraba la instalación eléctrica del edificio, desde la acometida hasta la última carga, de lo cual obtuve la siguiente información.

1.- La acometida eléctrica al edificio gubernamental es en alta tensión 23,000 V.

2.- Cuenta con una subestación tipo compacta para servicio interior y es propiedad del usuario. El sistema se integra de dos transformadores, el primero de **500 KVA**, que transforma la tensión de 23,000 V a 220/127 V y alimenta al tablero general **TG-1**, mismo que a su vez alimenta a los tableros de distribución el **TD-1**, **TD-2** y **TD-3**, destacando que el **TD-1** alimenta a los tableros de contactos normales (ubicados cada piso del edificio), el **TD-2** alimenta a los tableros de contactos regulados (ubicados cada piso del edificio) y al tablero **TD-3**, mismo que alimenta a los tableros de alumbrado (ubicados cada piso del edificio).

Cabe señalar que en cada piso desde planta baja hasta el cuarto nivel del mencionado inmueble se cuenta con un cuarto eléctrico, en el que se ubican tres tableros; uno de contactos normales, un segundo de contactos regulados y un tercero de alumbrado.

Adicional a lo anterior y para llevar esta carga se cuenta con una planta de emergencia a base de un motor de combustión interna de **500 KW**, 220/127 VCA, 3F-4 H, 60 Hz.

3.- El sistema eléctrico cuenta con un segundo transformador y es de **750 KVA**, que transforma la tensión de 23, 0000 V a 480 V, el cual alimenta a los tableros generales **TG.2** y **TG-3**, el primero lleva la carga de las Unidades Manejadoras de Aire del sistema de aire acondicionado (**UMA´S**), Unidad Generadora de Agua Helada (**UGAH**) y Sistema de Bombeo de Agua Helada (**BAH**), el segundo tablero alimenta la carga de los ventiladores de extracción de aire (**VE**) y los ventiladores de inyección de aire (**VI**) ubicados en los cuatro sótanos utilizados como estacionamientos, a los motores de los 6 elevadores, al tablero de bombas para el agua de sanitarios. Particularmente debo hacer notar que a través del **TG-3** se alimenta a un transformador tipo seco que transforma la tensión de 480 V a 220/127 V, mismo que suministra de energía eléctrica al tablero de distribución **TD-4**, desde el cual se alimenta a todos los servicios como alumbrado en andadores de la azotea y estacionamientos.

Para llevar esta carga se cuenta con una planta de emergencia a base de un motor de combustión interna de **300 KW**, 220/127 VCA, 3F-4 H, 60 Hz.

Tabla 5.1.- Resultado del levantamiento físico de la instalación eléctrica inicial del edificio público.

Acometida eléctrica en alta tensión en 23,000 V.		
Transformador de 500 KVA , con tensión en primario de 23,000 V y secundario de 220/127 VCA, 3F-4 H, 60 Hz y planta de emergencia a base de un motor de combustión interna (diesel) de 500 kW . 220/127 VCA, 3F-4 H, 60 Hz, 1800 RPM, F.P.= 0.80		
Servicios que se alimentan		
Tablero general TG-1	Tablero de distribución TD-1	Tableros de contactos normales NPB, N1, N2, N3 y N4
	Tablero de distribución TD-2	Tableros de contactos regulados RPB, R1, R2, R3 y R4
	Tablero de distribución TD-3	Tableros de alumbrado APB, A1, A2, A3 y A4
Transformador de 750 KVA con tensión en primario de 23,000 V y secundario de 480 VCA, 3F-4 H, 60 Hz y planta de emergencia a base de un motor de combustión interna (diesel) de 300 kW , 480/220/127 VCA, 3F-4H, 60 Hz. 1800 RPM, F.P.= 0.80		
Servicios que se alimentan		
Tablero general TG-2	Unidades Manejadoras de Agua (UMA'S)	
	Unidad Generadora de Agua Helada (UGAH)	
	Sistema de Bombeo de Agua Helada (BAH)	
Tablero general TG-3	Ventiladores de Extracción de Aire (VE)	
	Ventiladores de Inyección de Aire (VI)	
	Motores de los 6 elevadores	
	Tablero de bombas de agua para sanitarios	
	Transformador tipo seco de 150 KVA, 480/220/127 V	Tablero TD-4 Del que se alimentan a los tableros de servicios generales como; alumbrado en andadores de la azotea y estacionamientos.

4.- Cabe señalar que de cada circuito ya sea de tableros generales, tableros de distribución, de contactos normales, de contactos regulados y de alumbrado se verificó

la carga conectada, calibre o sección y tipo de conductores, a qué fase estaban conectados y capacidad del dispositivo de protección.

Se determinó la carga conectada a cada fase, y por consiguiente la carga total de cada tablero con su respectivo desbalance.

Por ejemplo, el tablero de contactos normales ubicado en el cuarto piso e identificado como **N4** presentaba un desbalanceo en la carga conectada en sus fases del **14.79%** muy superior al **5%** máximo permitido.

Tabla 5.2.- Condición de la carga inicial del tablero de contactos normales **N4**.

CARGA POR FASE DEL TABLERO DE CONTACTOS NORMALES N4					DESBALANCEO MÁXIMO
CARGA	A	B	C	Carga Total	
Contactos normales	13,608.0 W	10,044.0 W	14,256.0 W	37,908.0 W	14.79 %
Distinta a contactos	1,700.0 W	3,000.0 W	800.0 W	5,500.0 W	
Carga Total	15,308.0 W	13,044.0 W	15,056.0 W	43,408.0 W	

En este tablero (contactos normales) se encontró una carga conectada de **5,500.0 W** por concepto de aparatos que están prohibidos por protección civil del edificio gubernamental, como son entre otros; cafeteras, frigobares, televisores, minicomponentes, relojes eléctricos, parrillas de resistencia y microondas.

Por otra parte, el tablero de contactos regulados **R4** ubicado en el cuarto piso, presentó un desbalance en la carga conectada de **8.91%**, superior al máximo aceptable. Adicional a lo anterior, este tablero tenía carga conectada correspondiente a aparatos que están prohibidos por protección civil del edificio gubernamental como son: televisores, parrillas de resistencia y microondas por **4,200.0 W**.

Tabla 5.3.- Condición de la carga inicial del tablero de contactos regulados **R4**.

CARGA POR FASE DEL TABLERO DE CONTACTOS REGULADOS R4					DESBALANCEO MÁXIMO
CARGA	A	B	C	Carga Total	
Contactos regulados	12,636.0 W	12,150.0 W	11,792.0 W	36,578.0 W	8.91 %
Carga distinta a contactos	1,800.0 W	1,000.0 W	1,400.0 W	4,200.0 W	
Carga Total	14,436.0 W	13,150.0 W	13,192.0 W	40,778.0 W	

Así mismo, el tablero de alumbrado **A4** presentaba un desbalance en su carga del **26.73%** y se encontró una carga prohibida por la normatividad al interior del edificio gubernamental de **9,500.0 W**, por concepto de cafeteras, frigobares, televisores,

minicomponentes, relojes, parrillas de resistencia y microondas prohibidos por protección civil.

Tabla 5.4.- Condición de la carga inicial del tablero de alumbrado **A4**.

CARGA POR FASE DEL TABLERO DE ALUMBRADO A4					DESBALANCEO MÁXIMO
CARGA	A	B	C	Carga Total	
Alumbrado fluorescente	8,162.0 W	11,718.0 W	12,580.0 W	32,460.0 W	26.73 %
Carga distinta a alumbrado	3,500.0 W	4,200.0 W	1,800.0 W	9,500.0 W	
Carga Total	11,662.0 W	15,918.0 W	14,380.0 W	41,960.0 W	

Cabe señalar que dado que se trata de carga conectada a circuitos monofásicos a dos hilos (1F-1neuro), el artículo 210.3 de la NOM-001-SEDE 2012 recomienda considerar una carga no mayor a 1500 W, esto implica una protección de sobrecorriente de 20 A.

Sin embargo, varios circuitos en los tres tableros se encontraban bajo las siguientes condiciones de operación, por ejemplo, un circuito tenía una carga conectada de 1,800.0 W, a una distancia del tablero al centro de carga de 15.0 m con conductores calibre 12 AWG (25 A) y dispositivo de protección de sobrecorriente de 40 A.

Dado el siguiente análisis se observó que el calibre del conductor no es el apropiado ni por ampacidad ni por caída de tensión, ya que tomando en consideración un factor de agrupamiento del 0.5 y un factor de potencia de 0.90, la carga demanda una corriente de 31.49 A por lo que por ampacidad y por caída de tensión el calibre correcto debería ser de 10 AWG (35 A) y una sección transversal del cobre de 5.26 mm².

Por lo expuesto estos conductores permanentemente estarían trabajando en condiciones de sobrecarga degradando severamente su aislamiento ya que el dispositivo de protección de sobrecorriente operaría hasta que detectara el paso por él de 40 amperes.

Por otra parte, el sistema de alumbrado presentaba zonas con distintos niveles de iluminación entre ellas y fuera de los necesarios (**300 luxes**). A mayor precisión algunas zonas tenían 90 luxes y en otras hasta 600 luxes, incumpliendo con lo dispuesto en la **Norma Oficial Mexicana NOM 025-STPS-2008 “Condiciones de Iluminación en los Centros de Trabajo”** de la Secretaría del Trabajo, como se puede apreciar en la siguiente planta arquitectónica.

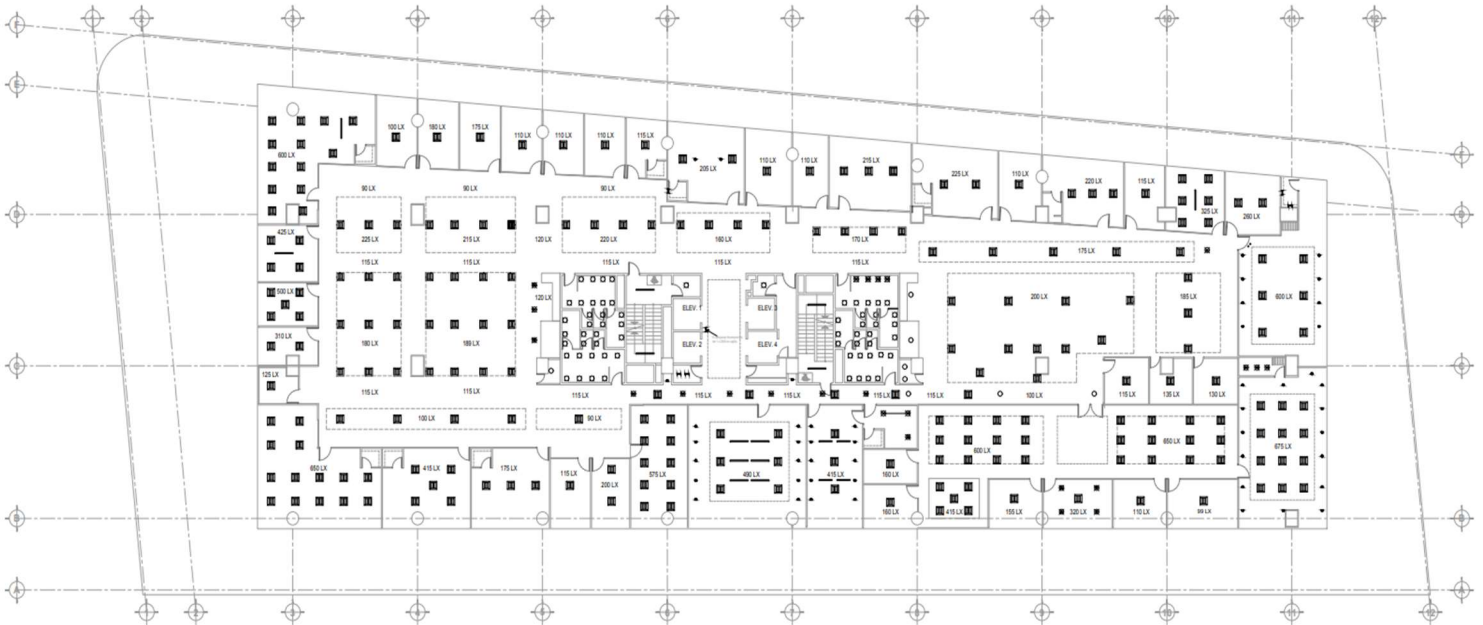


Figura 5.1 Planta del piso 4 del edificio público con niveles de iluminación fuera de norma.

Otro de los requerimientos de las autoridades del edificio gubernamental fue la rediseñar la red de tierras de su subestación. Por lo que primero realicé fue llevar a cabo un levantamiento físico para conocer el estado que guardaba la malla para proponer alternativas que permitieran que la misma fuera segura para las personas ante condiciones de corrientes de falla a tierra en su retorno por el terreno natural a su lugar de origen, ya que en esa trayectoria se provocan **tensiones de paso** y de **contacto** que pueden ser peligrosos para el ser **humano** y los **animales**, ver figura 5.2.

En coordinación con personal de mantenimiento efectué calas en el sótano 4 del edificio gubernamental encontrando lo siguiente:

- Dado que el edificio gubernamental está ubicado en el sur de la ciudad de México el tipo de terreno es rocoso, por lo que según tablas la resistividad es de 500 Ω -m.
- La malla está construida en el sótano 4 del edificio gubernamental en un área de 82.0 m x 34.0 m., a una profundidad de 0.80 m. y su configuración es rectangular.
- El espesor de la losa sobre la superficie del sótano 4 es de 0.20 m, de concreto armado.
- Como parte del mejoramiento del terreno encontré una capa de tepetate compactado de entre 2.0 y 3.0 m de espesor.
- La retícula está formada por conductores paralelos desnudos, de calibre 4/0 AWG, respetando una separación en ambos sentidos de 1.0 m, con conectores soldables

en sus intercepciones y en las conexiones de conductor con electrodos de puesta a tierra.

- Los electrodos de puesta a tierra están hincados sólo en el perímetro de la malla, a cada 2.0 m de separación y son de 5/8" de diámetro.
- La subestación está ubicada en la sección norte del sótano 1 y cuenta con una tarima de madera sin clavos metálicos, recubierta con material aislante (hule), por lo que se considera una resistividad según tablas de 10,000 Ω -m.

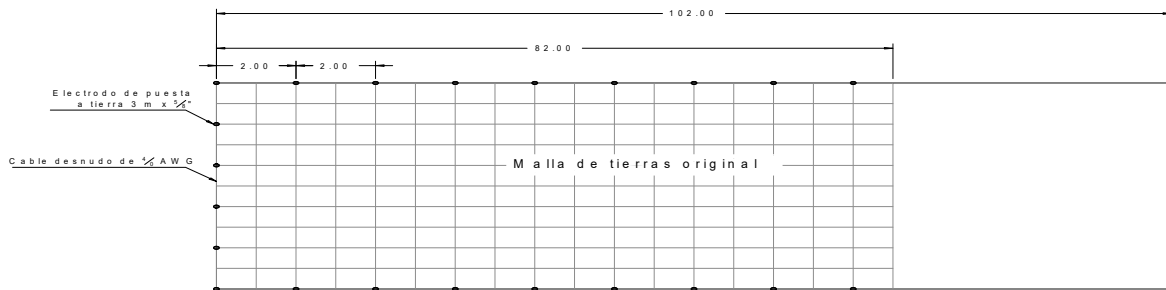


Figura 5.2 Retícula de la red de tierras original.

Metodología empleada en la reingeniería del sistema eléctrico.

Una vez conocida la condición del sistema eléctrico del edificio gubernamental y con el propósito de determinar la carga real del sistema, las autoridades del edificio gubernamental instruyeron al personal administrativo desconectar y retirar del mencionado inmueble todos los aparatos prohibidos y que no eran esenciales para el desarrollo de sus actividades y que incrementaban severamente la carga al propio sistema como son; cafeteras, frigobares, televisores, minicomponentes, relojes eléctricos, parrillas de resistencia y microondas .



Figura 5.3 Equipo eléctrico y electrónico prohibido al interior del edificio público, que incrementaba la carga y que fue retirado.

Consideraciones generales empleadas en la reingeniería del sistema eléctrico.

El **tamaño de los conductores** correspondientes a circuitos derivados, con excepción a los correspondientes a motores, se calcularon para llevar una carga no mayor a **1500 watts**, de acuerdo a las disposiciones que para el efecto se señalan en los artículos **210** (requisitos para los circuitos derivados, excepto aquellos que alimenten únicamente cargas de motores), **215** (protección contra sobrecorriente, ampacidad y tamaño mínimo de los conductores para los alimentadores que suministran energía a las cargas de los circuitos derivados) y **310** (conductores para alambrado en general) de la **NOM-001-SEDE-2012**.

Destacando que para la determinación de la sección del conductor por ampacidad se utilizó la tabla **310-15 (b)(16)** identificada como “Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 Volts y 60 °C a 90 °C” de la **NOM 001-SEDE 2012**.

La sección transversal de los conductores para circuitos alimentadores se dimensionaron para evitar una caída de tensión mayor que **2%**, hasta la salida más lejana que alimente cargas de alumbrado, fuerza o cualquier combinación de ellas, artículo 210-19 (a)-Nota 4 de la **NOM 001-SEDE 2012**.

La sección transversal de los conductores para circuitos derivados se dimensionaron para evitar, una caída de tensión mayor que **3%**, hasta la salida más lejana que alimente cargas de alumbrado, fuerza o cualquier combinación de ellas, artículo 210-19 (a)-Nota 4 de la **NOM 001-SEDE 2012**.

De tal forma que la caída máxima de tensión combinada de los circuitos alimentadores y de los circuitos derivados no sea mayor a **5%**, lo que proporcionará una razonable eficiencia de funcionamiento.

Rediseño del sistema de alumbrado, contactos normales y regulados.

Posteriormente llevé a cabo el diseño eléctrico del sistema de alumbrado, contactos normales y contactos regulados en áreas de oficinas y áreas comunes de los pisos PB, 1, 2, 3 y 4.

Para la carga de cada circuito de contactos normales, contactos regulados y de alumbrado consideré una carga no mayor a 1500 W, calculé el tamaño o calibre de los conductores por ampacidad (considerando un factor de corrección por agrupamiento del 0.5 y un factor de potencia de 0.9, no consideré un factor de corrección por temperatura en virtud de que el edificio se encuentra ubicado al sur de la Ciudad de México por lo que adopté una temperatura ambiente de 30 °C) y por caída de tensión (del 3% máximo, para esto último determinando el centro de carga respectivo), calculé el diámetro de las tuberías con un factor de relleno del 40% (con todo y aislamiento) así mismo la protección

contra sobre corrientes de cada circuito la determiné poniendo énfasis en la capacidad de conducción máxima del conductor para así proteger su aislamiento, puse especial cuidado en no tener un desbalanceo superior al 5% en cada tablero.

En particular para el proyecto del sistema de alumbrado y como parte del programa de racionalidad y austeridad presupuestal para el ejercicio presupuestal 2019, las autoridades administrativas del mencionado inmueble me instruyeron considerar en la ingeniería lo siguiente:

- Sustituir el sistema de alumbrado con el que contaba el inmueble, luminarias con lámparas fluorescentes tecnología T-5, 3 x 14 watts (45 Watts totales), por luminarias con lámparas tecnología LED (Diodo Emisor de Luz) con 38 watts totales por luminaria). Lo anterior en cubículos de oficinas y en áreas abiertas de los pisos Planta Baja, 1er, 2do, 3er y 4to. Niveles, ajustándose a un obtener en el plano de trabajo un promedio de **300 luxes** y así cumplir con lo dispuesto en la **Norma Oficial Mexicana NOM 025-STPS-2008 “Condiciones de Iluminación en los Centros de Trabajo”** de la Secretaría del Trabajo, para ello me ajusté al método de los lúmenes, también denominado **Sistema General** o **Método del Factor de Utilización**.
- Tomando en cuenta, que el personal administrativo debería aprovechar al máximo la luz solar al interior de las oficinas, pasillos y áreas abiertas, así como evitar el uso de energía eléctrica por concepto de alumbrado en recesos por concepto de comida, en ausencias extensas del inmueble y al terminar la jornada laboral, en el proyecto ejecutivo establecí células integradas por grupos de luminarias, mismas que se controlan ahora por apagadores, los cuales se instalaron de manera estratégica en oficinas y en pasillos en lugar de que su control siguiera siendo desde los tableros de alumbrado.

Construcción del sistema eléctrico de alumbrado, contactos regulados y contactos normales.

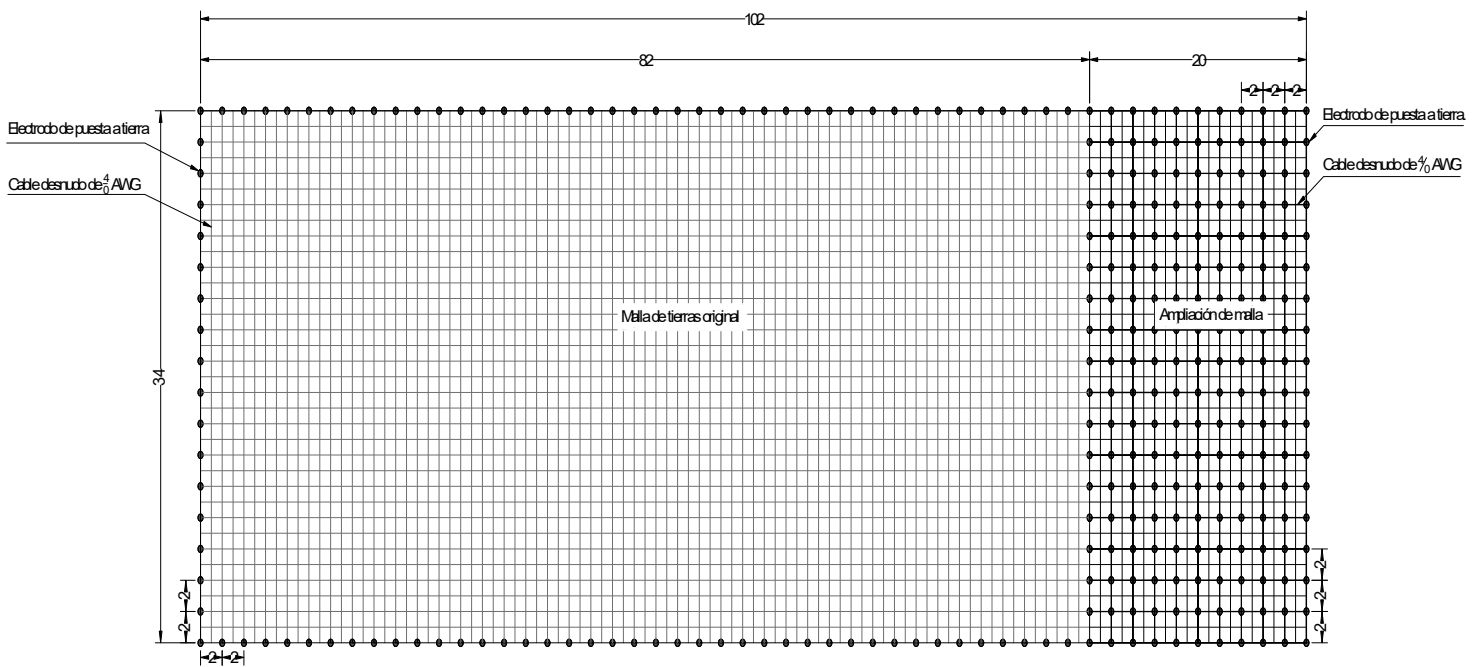
Toda vez que las condiciones físicas de las tuberías, de los conductores y protecciones no obedecían a las consideraciones del nuevo proyecto ejecutivo, ni cumplían con los requerimientos de la **NOM 001-SEDE 2012** estos tuvieron que desmantelarse, razón por la que las actividades de construcción se llevaron a cabo en días festivos, fines de semana y periodo vacacional de diciembre de 2019, a través de un contratista eléctrico externo a la Institución.

Lo primero que se realizó fue el retiro de las placas (60 x 60 cm) que conformaban los plafones reticulares en cada piso para dejar al descubierto las viejas instalaciones y facilitar su retiro (conductores, desmantelamiento de tuberías existentes, accesorios, luminarias con lámparas fluorescentes y desmontaje de las protecciones en tableros).

Posteriormente y de manera coordinada se instalaron las nuevas tuberías, el alambrado, lámparas con sus respectivos apagadores, contactos normales y regulados de acuerdo a los nuevos circuitos del proyecto ejecutivo y se colocaron las nuevas protecciones de cada circuito en los tableros respectivos de cada piso y finalmente se repuso el plafón reticular.

Rediseño de la red de tierras

Toda vez que el sótano 4 en su lado más largo mide 120.0 m, mi propuesta se centró en incrementar la retícula actual en 20.0 m en su lado más largo, por los 34.0 m de ancho que de origen ya se tenía. Lo anterior incrementaría el área para la disipación de las corrientes de corto circuito y reduciría la resistencia de la red de tierras a tierra al rango de **5 ohms**.



Para ello tomé en cuenta lo siguiente:

- Continuar con la arquitectura de la retícula actual, en lo que respecta al calibre del conductor desnudo de 4/0 AWG, con la separación de conductores paralelos de 1.0 m y a una profundidad de 0.80 m.

- Hincar electrodos de 3.0 m no solo en la periferia de la malla ampliada sino en el centro inclusive, estos separados 2.0 m entre sí.
- Emplear conectores soldables en las intercepciones de cable a cable y en la unión de cable a electrodo.
- Emplear el dato de la Comisión Federal de Electricidad respecto a la máxima corriente de falla a tierra en la acometida del servicio al edificio gubernamental.
- Toda vez que la capa de tepetate mejorado no es uniforme en su profundidad, para el hincado de los electrodos donde no fuera posible de manera vertical en sus 3.0 m, pudieran hincarse de manera oblicua en un ángulo no mayor a 45 grados respecto a la vertical, según artículo 250-53-g) de la **NOM 001-SEDE 2012**.

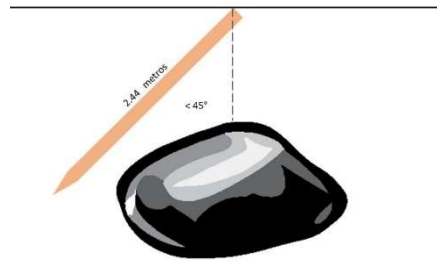


Figura 5.4 DOMUS Ingeniería. (2019). Electrodo de puesta a tierra. 08/2020, de UVLE y UIIE Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?=iLkFrJLnCbE>

CAPÍTULO 6. Resultados y Aportaciones

En virtud de que la administración actual del edificio gubernamental carecía de planos eléctricos con la carga al interior de inmueble, realicé para cada piso (planta baja, 1er., 2do., 3er y 4to nivel) lo siguiente:

1.- Plano en planta del sistema de alumbrado acorde con el nuevo diseño del sistema de iluminación a base de lámparas tecnología LED de bajo consumo de potencia para oficinas y áreas comunes; con niveles de iluminación uniforme a **300 luxes** en el plano de trabajo, acorde con las exigencias del **NOM 025-STPS-2008 “Condiciones de Iluminación en los Centros de Trabajo”** de la Secretaría del Trabajo.

2.- Plano en planta del sistema de contactos normales, con la distribución uniforme de la carga en las tres fases de cada tablero, indicando número de circuito al que pertenecen, número de conductores, calibre de los mismos en cada tramo de su trayectoria y capacidad del dispositivo de protección contra sobrecorrientes.

3.- Plano en planta del sistema de contactos regulados, con la distribución uniforme de la carga en las tres fases de cada tablero, indicando número de circuito al que pertenecen, número de conductores, calibre de los mismos en cada tramo de su trayectoria y capacidad del dispositivo de protección contra sobrecorrientes.

4.- Plano con el cuadro de cargas de cada tablero, identificando capacidad interruptiva del dispositivo de protección contra sobrecorrientes de cada circuito derivado, longitud de estos hasta la carga y el valor de la carga conectada, así como la caída de tensión respectiva (con un desbalanceo máximo menor al 5%).

5.- Plano con el diagrama unifilar de cada tablero, con la identificación de la capacidad interruptiva del dispositivo de protección contra sobrecorrientes de los circuitos derivados, longitud de estos hasta la carga y el valor de la carga conectada, así como la caída de tensión respectiva.

6.- Plano del diagrama unifilar general, con identificación de circuitos, indicación de la capacidad del interruptor principal y de interruptores de los alimentadores principales, longitud, número y calibre de conductores a tableros generales, tableros de distribución, tableros alumbrado y contactos normales y regulados de cada piso, así como el valor de la carga conectada y caída de tensión máxima.

7.- Memoria de cálculo de los alimentadores principales a tableros de alumbrado, tablero de contactos normales y de contactos regulados, así como la memoria de cálculo de los sistemas de alumbrado, contactos normales y regulados.

8.- Los materiales como; conductores, canalizaciones e interruptores de los sistemas de alumbrado, contactos normales y regulados son nuevos.

9.- Plano y memoria de cálculo del rediseño de la red de tierras de la subestación cuya resistencia a tierra resultó ser de **3.8103 Ω** menor a **5.0 Ω** , como se solicitó. Así mismo y después de haber calculado los potenciales de toque y de paso tolerables y los respectivas tensiones máximas de malla y de paso, la malla es segura para las personas que laboran a su interior y de las que estén en su periferia, lo anterior ante la circulación de **corrientes de cortocircuito**, ya que **NO** se presentarán gradientes de potencial que pongan en peligro la vida humana ni la integridad de los equipos, y se puede asegurar que es apta para limitar las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas, a fenómenos transitorios en el propio circuito o a contactos accidentales con líneas de mayor tensión, asegurando que la misma estabilizará la tensión a tierra del circuito durante su operación normal y facilitará la operación de los dispositivos de protección contra sobrecorriente, en caso de falla a tierra.

CONCLUSIONES

Toda vez que las autoridades del edificio gubernamental cuentan ya con los planos del sistema eléctrico de alumbrado y fuerza en baja tensión y fuerza en media tensión, el diagrama unifilar general, cuadros de carga y diagramas unilares de los tableros de alumbrado y fuerza (contactos de corriente normal y regulados) de cada piso, así como con la memoria de cálculo de alimentadores principales a tableros de alumbrado y fuerza

y los respectivos a cada circuito derivado, están en condiciones de implementar políticas certeras respecto al crecimiento de la población a su interior y de la conexión de nuevos equipos al sistema eléctrico.

Resalta la importancia de la existencia de los planos del sistema eléctrico actual del edificio gubernamental, debido a que con ellos los ingenieros encargados del mantenimiento podrán realizar su trabajo de manera precisa. Al mismo tiempo podrán realizar proyectos basados en las buenas prácticas de ingeniería respecto al cálculo eléctrico y en su caso construir tomando en consideración las normas aplicables vigentes en la República Mexicana como la **NOM 001-SEDE 2012** Instalaciones Eléctricas (utilización), que establece las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que estas ofrezcan condiciones adecuadas de **seguridad** para las personas y sus equipos, así como **asegurar** el suministro eléctrico a los procesos de trabajo con una instalación eléctrica **confiable**, es decir que garantice la continuidad del servicio, en las que una falla quede aislada a fin de no interrumpir el resto del proceso y con mínimas variaciones de tensión, que la **flexibilidad** del sistema permita cambios en las condiciones de carga con un mínimo de modificaciones y gastos.

Por otra parte, es importante reconocer que a través de la luz es como las personas podemos realizar nuestras actividades diarias y sin duda la luz natural es la más conveniente ya que es la que permite distinguir mejor los colores, produce menos fatiga visual y es la más económica. Sin embargo, durante la jornada laboral es variable y hay que complementarla o sustituirla con la iluminación artificial.

Dado lo expuesto, los ingenieros de mantenimiento del edificio gubernamental deberán considerar ingenierías de detalle con niveles de iluminación artificial, en base al cumplimiento de los requerimientos legales vigentes para la actividad que se realizará, así mismo se deberán evaluar los espacios donde se pueda aprovechar la luz natural, mismo que traerá ahorros importantes y dará como resultado una sensación de bienestar al trabajador, un mejor desempeño de sus actividades y por ende de su productividad, además de un impacto positivo en la estética de esta edificación.

Cabe hacer notar que bajos niveles de iluminación ocasionarán poca visibilidad, mismos que pueden entorpecer las tareas encomendadas y ser factor detonante de accidentes laborales, así como causantes de fatiga visual, que pueden poner en riesgo la salud de las personas (desde dolor de cabeza, irritabilidad, disminución de visión, etc.).

Así mismo, y derivado de lo manifestado en este trabajo, se puede concluir que el ojo humano responde a la luz y que es posible ver los objetos gracias a luz, ya sea por la que emite el objeto o por la que se refleja de él. Si bien todo tipo de luz se origina en una fuente de energía, por ejemplo, el sol, una lámpara eléctrica o una vela encendida, la mayor parte de la luz que vemos en el mundo físico resulta de la luz reflejada, por lo que el personal de mantenimiento debe implementar un programa de limpieza a luminarias, conservación de muros, pisos, plafones y sustitución de lámparas dañadas, lo cual

ayudará a mantener disponible la luz necesaria en el plano de trabajo las áreas del edificio gubernamental derivando en un mejor ambiente de trabajo.

Cabe precisar que los ingenieros encargados de diseñar sistemas de tierra en instalaciones eléctricas de **mediana tensión** (6, 13.8, 23 y 34.5 KV), deben elaborarlos con base en la protección de las personas, debido a que en condiciones de **falla a tierra**, la corriente de falla a tierra al tomar su trayectoria de retorno a su lugar de origen por el terreno natural provocará una **tensión de paso** y una **tensión de contacto** que pueden ser peligrosos para el ser **humano** y los **animales**. Se debe tomar en cuenta que al ocurrir una falla a tierra en una subestación, la tensión máxima que se presenta en la malla es el peor caso y está en función de la **corriente de cortocircuito** y de la **resistencia de la malla de tierras**.

Los sistemas de tierra en **baja tensión**, aparentemente son los más simples, ya que no se diseñan con base en potenciales de paso o de contacto, sin embargo, es un hecho que la mayor parte de accidentes por este concepto ocurren en el hogar, en regaderas eléctricas, tinas de hidromasaje, equipos de baño, lavadoras, secadoras, etc. De ahí que actualmente los equipos vienen adecuados para una tierra física en sus clavijas.

La **NOM 001 SEDE 2012** exige a los usuarios de la energía eléctrica en **baja tensión** tener su propia conexión a tierra, precisando que en un sistema secundario puesto a tierra, cada servicio individual debe tener una conexión a un electrodo de tierra. Esta conexión debe hacerse como parte de la instalación del usuario, en el lado de abastecimiento del medio de desconexión principal y no en el lado de la carga. En la misma norma para instalaciones eléctricas en baja tensión dice “El valor de la resistencia a tierra de los electrodos artificiales no debe ser superior a **25 Ω** , en las condiciones más desfavorables. Cuando no se pueda lograr esta resistencia con un solo electrodo, debe emplearse, cuando menos un electrodo adicional.

Algunas recomendaciones sobre el diseño de la red de tierras son:

- Las subestaciones deben contar con un adecuado sistema de tierras, al cual se deben conectar todos los elementos de la instalación que requieran conexión a tierra.
- El sistema de tierras debe formarse por una red o malla de conductores enterrados, a una profundidad que usualmente varía de 0.3 a 1.0 m.
- Con electrodos conectados a la red para lograr llegar a terreno más húmedo.
- Se recomienda que los conductores de la malla sean de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG (107.2 mm²) y que los conductores de puesta a tierra del equipo no sean de un calibre menor al No. 2 AWG (33.6 mm²).
- La malla puede estar constituida por cables colocados paralela y perpendicularmente con un espaciamiento razonable.
- Las uniones deben soportar las corrientes de falla y tener resistencia mecánica y ser resistentes a la corrosión.

- La resistencia a tierra debe conservarse en el valor más bajo posible (los valores aceptables van desde 10 Ω hasta menos de 1 Ω).
- Se recomienda hacer las pruebas necesarias para comprobar que los valores reales de la resistencia a tierra de la malla se ajusten a los valores de diseño.

Otra consideración que personal de mantenimiento del edificio gubernamental debe tomar en cuenta de manera permanentemente y que debe servir de base en futuros proyectos eléctricos es el de la **calidad de la energía**. Haciendo hincapié en que el “**Suministrador de energía eléctrica**” tiene la responsabilidad de entregar en la acometida del usuario, una distorsión armónica total en tensión que se encuentre dentro de los límites establecidos para diferentes niveles de tensión y a la vez el **usuario** debe ser responsable y asegurar que en la acometida, la generación de armónicas en corriente que se inyectan al sistema eléctrico de potencia, se ubiquen dentro de los límites establecidos por la normatividad ya que estas son consumidas como pérdidas por **efecto Joule** (que se transforman en calor), por lo que se debe considerar la instalación de equipos y protecciones para contener o eliminar esta contaminación del sistema eléctrico.

Bibliografía

Alcalde S. M. (2014), *Electrotecnia: Producción y consumo de electricidad: la electricidad: electricidad estática: carga eléctrica: movimiento de electrones: circuito eléctrico: intensidad de la corriente eléctrica: corriente continua: corriente alterna: conductores y aislantes: resistencia eléctrica*, (ed. 4ta), Cd. De México, Ediciones Paraninfo, S.A.

Becerril L. D.O. (2018). *Instalaciones Eléctricas Prácticas: conductores para instalaciones eléctricas en baja tensión: cálculo de los conductores eléctricos: circuitos derivados para alumbrado y contactos: motores eléctricos: corrección del factor de potencia*. Cd. De México: I.P.N.

Douglas C. G. (2017), *Física Principios con Aplicaciones: Movimiento de rotación: Carga eléctrica y campo eléctrico: Potencial eléctrico: Corrientes eléctricas: Circuito CD*, (ed. 6ta), Cd. De México, Pearson Educación.

Dominguez R. R., *Curso Elemental de Física*, Apuntes, 1-173.

Enríquez H. G., *El A, B, C de las instalaciones eléctricas industriales*, Cd. De México, LIMUSA.

Espinosa y L. R., (1987), *Sistemas Eléctricos de Distribución: División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.*

Galaz G. G. H., (1976), *Temas de Instalaciones Eléctricas: Alumbrado: Cálculo de conductores*, Cd. De México, I.P.N.

Halliday, R. W., (2018), *Fundamentos de Física: Carga eléctrica: Potencial eléctrico: corriente y resistencia: Circuitos: Campos magnéticos debidos a corrientes*, (ed. 8va), Cd. De México, PATRIA.

Heinz P., (1989), *Corrección del Factor de Potencia*, ep 32, Barcelona España, Siemens Aktiengesellschaft.

Heinz, Rieger,(1989), *Potencia y Trabajo de la corriente Alterna*, ep 30, Barcelona España, Siemens Aktiengesellschaft.

Heinz P., Hoachim G., (1989), *Potencia de la corriente trifásica y su Medición*, ep 36, Barcelona España, Siemens Aktiengesellschaft.

Heinz P., Rieger, (1990), *Corriente Alterna*, ep 12, Barcelona España, Siemens Aktiengesellschaft.

Ignacio J.L., (2015), *Motores de Inducción Trifásicos*, 1-42.

Inees M., (2012), *Iluminación en Interiorismo*, Revista técnica, 1-186.

López M. G., (2017), *Sistema de tierras en redes de distribución*, (ed.2da). Cd. De México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 1-80.

Malcolm I., (2012), *Iluminación en interiorismo*, (ed.1), China, 1-41

Oropeza A. J., (2005), *Instalaciones eléctricas residenciales: Electricidad: Ley de Ohm: Circuitos eléctricos: Corriente alterna: Acometida suministro eléctrico: Diseño de la instalación eléctrica: Selección de equipo eléctrico: Tipos de fallas eléctricas: Circuitos derivados: Factor de demanda para alimentadores: Puesta a tierra, Conductores, aislamiento y usos: Características de equipo eléctrico: Centros de carga: Tableros de alumbrado y distribución*, Cd. De México, Schneider Eléctric México.

Oropeza A. J., (2007), *Instalaciones eléctricas comerciales e industriales: Circuitos eléctricos: Análisis de un circuito eléctrico complejo: Tamaño de los conductores: Cálculo de conductores: Cálculo de tubo Conduit: Cálculo de corto circuito: Puesta a tierra de sistemas eléctricos: Cálculo del sistema de tierra de una subestación eléctrica*, Cd. De México, Schneider Eléctric México.

Oropeza A. J., (2013), *Libro de Oro de Puesta a Tierra Universal, (ed.2da)*. Cd. De México, Schneider Eléctric México.

Suarez J.A., G.F. D. Mauro, D. Anaut y C. Agüero, (2005), *Análisis de la Distorsión Armónica y los efectos de atenuación y diversidad en áreas residenciales*, IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, v (3), No. 5,429-435.

Tippens P.E., *Física Conceptos y Aplicaciones, Electricidad, Magnetismo y Óptica: La fuerza eléctrica: El campo eléctrico: Potencial eléctrico: Corriente y resistencia: Circuitos de corriente continua: Fuerzas y momentos de torsión en un campo magnético: Circuitos de corriente alterna: Luz e iluminación*, (ed.7ma), Cd. De México, Mc Graw Hill.

Universidad Politécnica Salesiana, (2012), *Armónicos en las Redes Eléctricas*, cap. (2), 24-55.

Valera N. J. P., *Apuntes de Física General*, 1-18.

Apéndice

I. Corriente eléctrica

I.1 Producción y consumo de electricidad

La electricidad se produce fundamentalmente en las centrales eléctricas. Su misión consiste en transformar cualquier forma de energía primaria (hidráulica, térmica, nuclear, solar, etc.) en energía eléctrica. Dada la facilidad con que se transporta la electricidad, por medio de las líneas eléctricas, la ventaja fundamental que conseguimos con esto es que se produce energía eléctrica en las zonas donde se puede acceder con facilidad a la energía primaria, para luego consumirla en ciudades, empresas o cualquier otro centro de consumo (**figura I.1**).

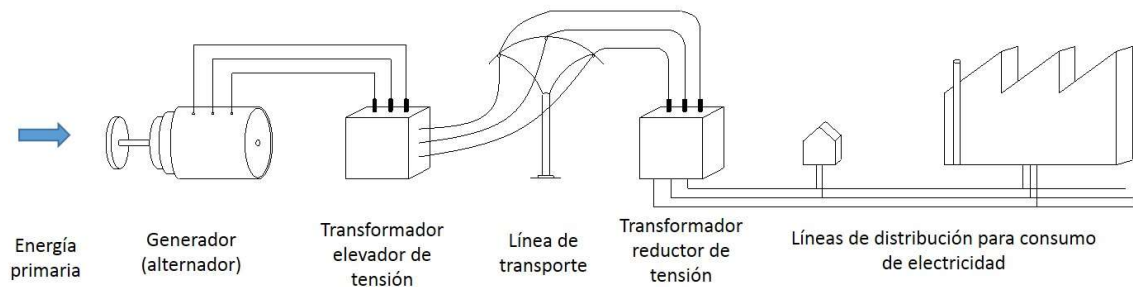


figura I.1. Sistema de producción, transporte y distribución de la energía eléctrica. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 2.

En las primeras centrales eléctricas el generador producía corriente continua mediante dinamos, lo que impedía el transporte de la energía eléctrica a grandes distancias. Actualmente los generadores eléctricos son alternadores trifásicos que generan corriente alterna trifásica. De esta forma, es más fácil transportar la electricidad a grandes distancias.

Los alternadores de las centrales proporcionan la energía eléctrica a una tensión de 10,000 a 20,000 Volts. Una vez producida la electricidad por estos, hay que transportarla hasta las ciudades, industrias y todo centro de consumo que, casi siempre, se encuentran a mucha distancia. El transporte se realiza a través de líneas eléctricas. Como éstas no son perfectas, ya que poseen resistencia eléctrica, se producen grandes pérdidas de energía en forma de calor.

Para reducir estas pérdidas se utilizan líneas de alta tensión (400,000 O 230,000 Volts). De esta forma, se disminuye la intensidad de la corriente eléctrica y la electricidad puede recorrer grandes distancias con pocas pérdidas.

El generador produce la energía eléctrica a una tensión de 10,000 a 20,000 Volts. En la estación transformadora se eleva dicha tensión a 400,000 O 230,000 Volts, dependiendo de la cantidad de energía que hay que transportar.

Los aparatos que consiguen elevar la tensión son los Transformadores eléctricos. Estos dispositivos solamente funcionan para la corriente alterna.

Las líneas eléctricas de alta tensión transportan la energía eléctrica desde las centrales hasta las proximidades de los centros de consumo. Estas líneas constan de tres conductores eléctricos (por lo general son de aluminio reforzados con acero) sujetos a torres metálicas de celosía y de gran altura. Las altas tensiones son muy peligrosas, por eso cuanto mayor es el valor de la tensión de la línea, mayor altura tienen dichas torres.

Las subestaciones de transformación preparan la energía eléctrica para ser distribuida (60,000 Y 24,000 Volts), en un mayor número de líneas, hacia los centros de consumo (grandes industrias, pequeñas poblaciones, sectores de una ciudad, etc.). Esto se lleva a cabo con varios transformadores reductores que proporcionan media tensión en su salida. Por último, se sitúan transformadores reductores cerca de los consumidores y se lleva a cabo la última reducción de la tensión, suministrando 440 o 220 Volts (baja tensión). Estas tensiones son ya mucho menos peligrosas para las personas que utilizan la electricidad.

I.2 Efectos de la electricidad

Se puede decir que la electricidad es la que hace girar los motores, encender lámparas, etc., en definitiva una fuerza, que como tal es invisible y de la cual sólo se notan sus efectos. Los efectos fundamentales que se conocen de la corriente eléctrica son:

Efecto térmico: Al fluir la corriente eléctrica por ciertos materiales, llamados resistivos, como el carbón, se produce calor en los mismos, pudiendo construirse, gracias a ese efecto, calefacciones, cocinas, hornos, calentadores de agua, planchas, secadores, etc.

Efecto químico: Al fluir corriente eléctrica por ciertos líquidos, éstos se disgregan, dándose el nombre de electrólisis a dicho proceso. Gracias a ese efecto se pueden producir productos químicos y metales, baños metálicos (galvanización) y recarga de baterías de acumuladores.

Efecto magnético: Al conectar una bobina a un circuito eléctrico, aquella produce un campo magnético similar al de un imán, lo que origina un efecto de atracción sobre ciertos metales. Aprovechando este efecto se pueden construir electroimanes, motores eléctricos, altavoces, instrumentos de medida, etc.

I.3 La electricidad

La electricidad es una manifestación física que tiene que ver con las modificaciones que se dan en las partes más pequeñas de la materia, en los átomos y más concretamente en el electrón.

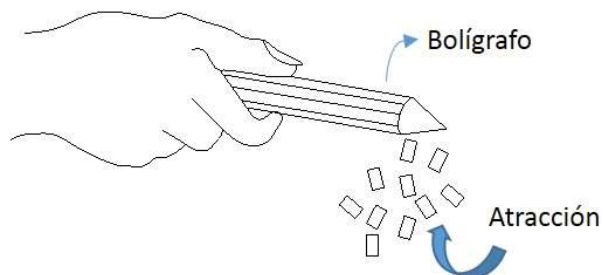


figura I.2 Al frotar el bolígrafo se electriza. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 3.

Después de frotar el bolígrafo los trozos de papel son atraídos por el bolígrafo, lo que indica que debido al frotamiento se han desarrollado determinadas fuerzas debido a las cargas eléctricas, que previamente no existían.

A fin de explicar el fenómeno de electrización observado en la **figura I.2** es necesario comprender los cambios que se han producido en las partes más pequeñas de la materia.

Los materiales están compuestos básicamente por moléculas, siendo éstas las partículas más pequeñas que poseen todas las propiedades físicas y químicas del material original. A su vez, estas moléculas se componen de otras partículas más pequeñas, llamadas átomos. Así por ejemplo la molécula de agua se compone de dos átomos de hidrógeno y de uno de oxígeno, tal como se indica en su fórmula química H_2O .

El átomo es muy pequeño y está compuesto de partes todavía más pequeñas, como son el núcleo y los electrones. El núcleo del átomo está formado por partículas elementales, tales como los protones y neutrones (**figura I.3**). Los electrones giran a gran velocidad en órbitas alrededor del núcleo.

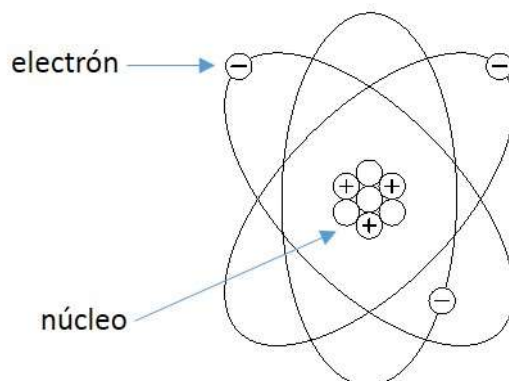


figura I.3 Estructura del átomo. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 4.

Si fuera posible situar un electrón frente a un protón, se podría observar un fenómeno de atracción. Al contrario, si enfrentamos dos electrones o dos protones éstos se repelen (**figura I.4**). esto nos indica que tanto el electrón como el protón poseen una propiedad que se manifiesta en forma de fuerza de atracción y de repulsión; nos estamos refiriendo a la carga eléctrica. Esta carga eléctrica es de diferente signo para el electrón y para el protón:

El protón tiene carga eléctrica positiva (+)

El electrón tiene carga eléctrica negativa (-)

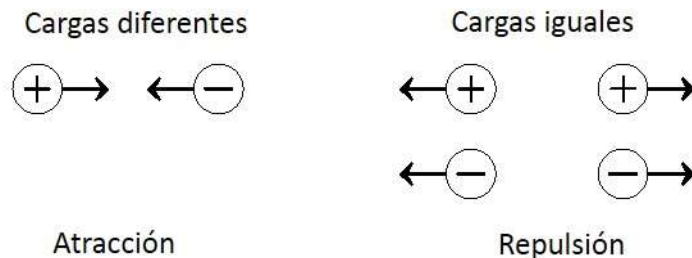


figura I.4 Fenómenos de atracción y repulsión en las cargas eléctricas. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 4.

En un átomo, los protones se concentran en el núcleo junto a los neutrones y algunas partículas atómicas. A pesar de que los protones posean carga positiva y que entre ellos exista una gran fuerza repulsiva, éstos se mantienen confinados y muy próximos entre sí en el núcleo, debido a las enormes fuerzas de carácter nuclear. Los neutrones no poseen carga eléctrica y aportan masa al núcleo del átomo.

En el átomo los electrones giran a gran velocidad dentro de sus respectivas órbitas alrededor del núcleo. La fuerza centrífuga que los electrones desarrollan en su giro se ve compensada por la fuerza de atracción que aparece entre los protones de carga positiva situados en el núcleo y dichos electrones.

El electrón posee una masa muy pequeña, en torno a algo más de la milésima parte de la masa de un protón. Además, los electrones más alejados del núcleo son atraídos con menor fuerza por el mismo, lo que hace posible su movilidad hacia otros átomos.

Átomo con carga neutra: Un átomo en estado normal posee el mismo número de electrones que protones. Esto hace que exista un equilibrio entre las fuerzas de carácter eléctrico que se dan entre protones y neutrones, y por tanto que dicho átomo permanezca eléctricamente neutro. Así, por ejemplo, un átomo de litio posee 3 protones y 3 electrones: $3(+) + 3(-) = 0$ (**figura I.5**).

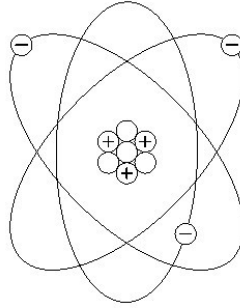


figura I.5 Átomo con carga neutra. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 4.

Átomo con carga positiva: Si por algún medio consiguiéramos arrancar electrones de las últimas órbitas de los átomos, surgiría un desequilibrio entre el número de cargas negativas y positivas, siendo mayores estas últimas y confiriendo, por tanto, una carga positiva a dicho átomo. Así por ejemplo, al frotar con un paño el litio, es posible que se arranque un electrón de su última órbita, quedando el átomo cargado positivamente por poseer un defecto de electrones: $3(+) + 2(-) = 1(+)$ (**figura I.6**).

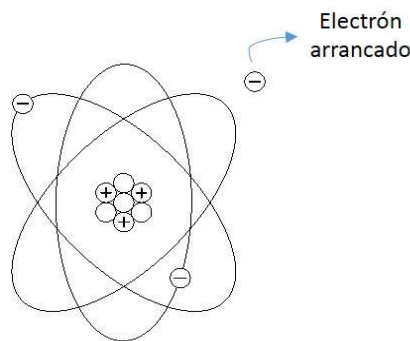


figura I.6. Átomo con carga positiva. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 4.

Átomo con carga negativa: de la misma manera, si por algún procedimiento conseguimos agregar electrones a un átomo eléctricamente neutro, este exceso de electrones produce una carga negativa en el átomo. En el ejemplo del litio, al añadir un electrón en su última órbita da como resultado una carga negativa $3(+) + 4(-) = 1(-)$ (**figura I.7**).

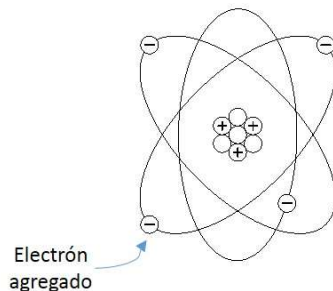


figura I.7 Átomo con carga negativa. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 4.

I.4 Electricidad Estática

Al frotar determinados materiales aislantes, éstos pierden o ganan electrones, lo que origina cargas eléctricas estáticas en dichos materiales. Este tipo de electricidad es el que se da, por ejemplo, al frotar un bolígrafo de plástico con un paño de lana, se transfieren electrones de un elemento a otro, quedando el bolígrafo cargado eléctricamente. Cuando acercamos el bolígrafo, cargado con electricidad estática, éste atrae a los papelitos, como es propio de los cuerpos electrizados.

El tipo de carga (positiva o negativa) con la que se electrizan los materiales después de haber sido frotados depende de los materiales que se empleen en el proceso. Así, por ejemplo, si se frota una barra de vidrio con un paño de lana, los electrones se transfieren del vidrio hacia el paño, quedando electrizado el primero con carga positiva (**figura I.8**).

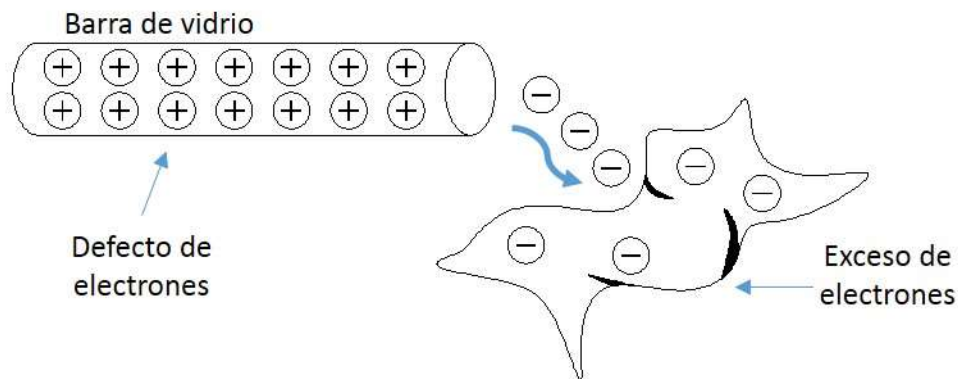


figura I.8 Al frotar, el vidrio se electriza con carga positiva. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 5.

Por otro lado, si lo que frotamos es una barra de ebonita con una piel de animal, los electrones son transferidos de la piel a la ebonita, quedando esta última cargada negativamente (**figura I.9**).

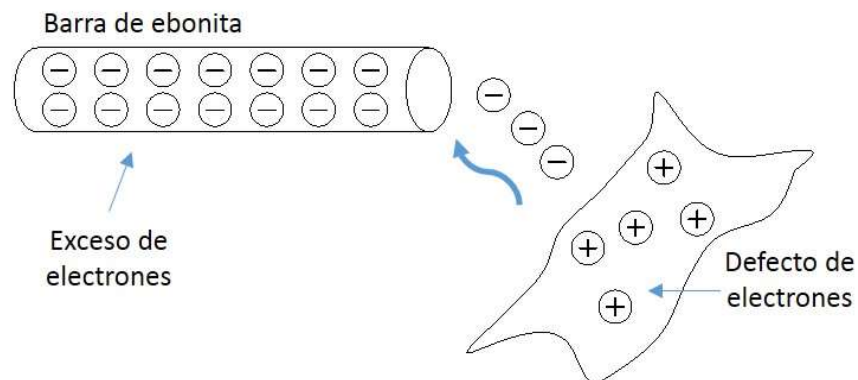


figura I.9 Al frotar la ebonita se electriza con carga negativa. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 5.

¿Qué ocurre si después de frotar dos barras de vidrio se acercan? (**figura I.10**)

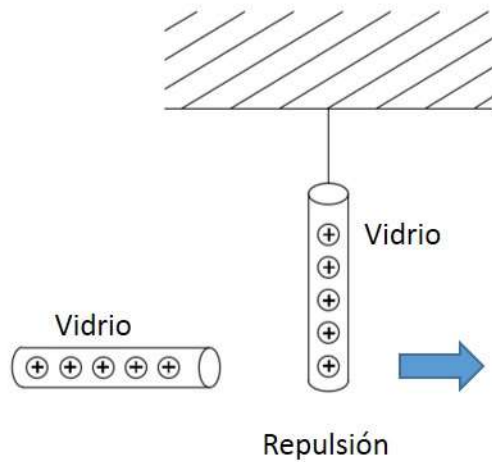


figura I.10 Repulsión. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 5.

¿Qué ocurre si después de frotar una barra de vidrio y una de ebonita se acercan? (**figura I.11**)

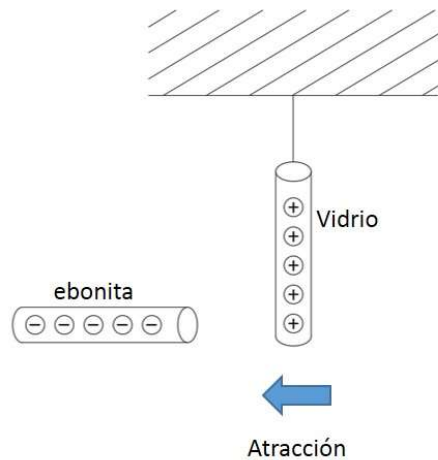


figura I.11 Atracción. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 5.

El causante en todo momento de la electrización de los cuerpos es el electrón, ya que posee carga y movilidad para poder desplazarse por los materiales. A partir de estos dos conceptos es posible que exista la electricidad.

I.5 Carga eléctrica

Se conoce como carga eléctrica de un cuerpo al exceso o defecto de electrones que éste posee

Carga negativa significa exceso de electrones

Carga positiva significa defecto de electrones

I.6 Movimiento de electrones

Supongamos que cargamos eléctricamente, por frotamiento, una bola de vidrio y otra de ebonita y las disponemos tal como se indica en la **figura I.12**. Entre ellas aparece una diferencia de carga eléctrica.



figura I.12 Diferencia de carga eléctrica. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 5.

Si ahora unimos eléctricamente las dos bolas mediante un conductor eléctrico (**figura I.13**), los electrones en exceso de la bola de ebonita cargada negativamente serán atraídos con fuerza por la carga positiva de la bola de vidrio. Dado que existe un camino conductor por donde se pueden desplazar los electrones de una bola a otra, aparece un movimiento de electrones por el mismo hasta que las cargas queden compensadas, es decir, hasta que la diferencia de cargas deja de existir.

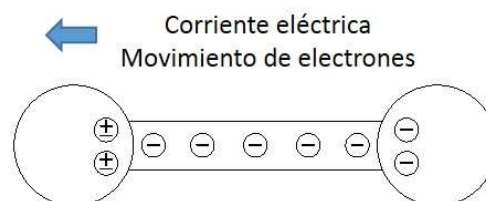


figura I.13 Movimiento de electrones. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 6.

Al movimiento de electrones que se establece por el conductor eléctrico se denomina **corriente eléctrica** o de otra forma, al flujo de carga como esta se le llama **corriente eléctrica**.

La **corriente eléctrica** se origina a partir del movimiento de los electrones y es una medida de la cantidad de carga que pasa por un punto dado en una unidad de tiempo.

$$I = \frac{Q}{t} \dots\dots\dots ec-1$$

$$1A = \frac{1C}{1s} \dots\dots\dots ec-2$$

Como se puede observar en la figura I.13, **el sentido de la corriente eléctrica** lo establecen los electrones, es decir, del cuerpo donde hay exceso de electrones hasta el cuerpo donde hay defecto de ellos (del negativo al positivo).

A la diferencia de cargas que se establece entre los dos cuerpos eléctricamente, y que es la causante del movimiento de electrones, se la conoce por otro nombre: **Tensión o diferencia de potencial**.

I.7 Corriente continua (C.C.)

Una corriente continua se caracteriza por que los electrones libres siempre se mueven en el mismo sentido por el conductor con una intensidad constante.

En el circuito de la **figura I.14** la pila proporciona corriente continua (C.C.) a la lámpara. El amperímetro indicará siempre la misma corriente, por ejemplo, 1 A.

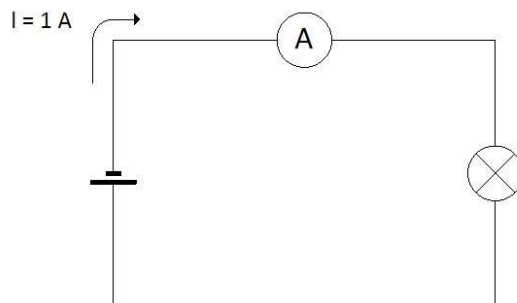


figura I.14 Un generador de C.C. mantiene invariable la polaridad de sus terminales. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 10.

En el gráfico de la **figura I.15** se ha representado la C.C. de 1 A., donde se observa que ese valor se mantiene invariable con el paso del tiempo.

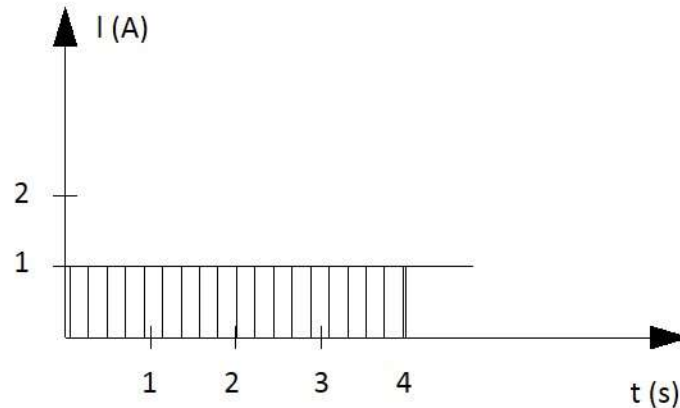


figura I.15 Representación gráfica de una C.C. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 10.

Los usos que se le dan a la C.C. son muy variados; baños electrolíticos, alimentación de aparatos electrónicos, tracción eléctrica (coches, tranvías, etc.) y otros muchos más.

I.8 Corriente alterna (C.A.)

La corriente alterna es la que producen los alternadores en las centrales eléctricas. Es la forma más común de transportar la energía eléctrica y de consumirla en nuestros hogares y en la industria en general.

Una corriente alterna se caracteriza por que el flujo de electrones se mueve por el conductor en un sentido y en otro, y además, el valor de la corriente eléctrica es variable. Se podrá decir que en este caso un generador produce periódicamente cambios en la polaridad de sus terminales de salida (**figura I.16**).

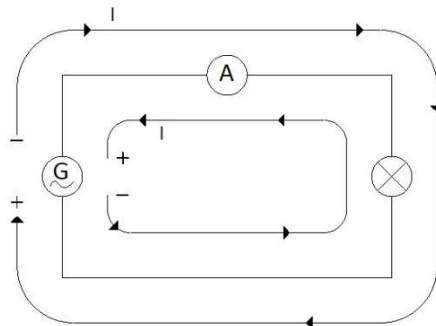


figura I.16 Un generador de C.A. produce cambios periódicos en la polaridad de sus terminales. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 10.

Observando la **figura I.17**, en el eje de tiempo se ha puesto en milisegundos ya que los cambios de corriente son muy rápidos (para una señal de C.A., representada en la Figura 75 se repite 60 veces en un segundo)

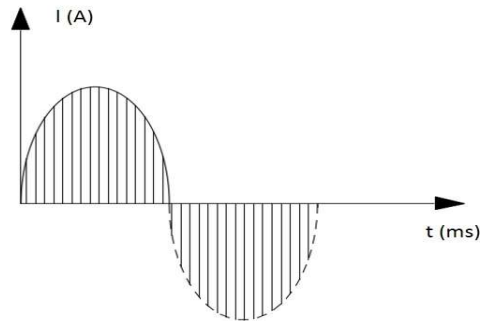


figura I.17 Representación gráfica de una C.A. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 11.

En un principio cabría pensar que veríamos a la lámpara encenderse y apagarse rápidamente, siguiendo los cambios rápidos de la corriente. Pero en la realidad no podemos ver este fenómeno, ya que el ojo humano no es capaz de percibirlo.

Dado que la corriente alterna es más fácil de producir, y que posee una serie de características que hacen más fácil su transporte, su campo de aplicación es muy amplio.

I.9 El circuito eléctrico

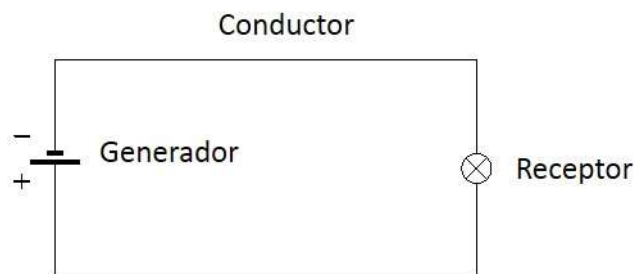


figura I.18 Circuito eléctrico. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 6.

Un circuito eléctrico básico es como el que se muestra en la **figura I.18**, integrado de:

- Un **GENERADOR**, que se encarga de generar una diferencia de cargas o tensión entre sus dos polos.
- Un **CONDUCTOR**, que permite que fluyan los electrones de una parte a otra del circuito.
- Un **RECEPTOR** o aparato eléctrico, que aprovechando el movimiento de electrones consigue transformar la energía eléctrica en energía calorífica, luminosa, motriz, etc.

El generador (en este caso una pila), a costa de consumir algún tipo de energía, separa las cargas en el interior del generador gracias a la fuerza electromotriz (**f.e.m.**), tomando electrones de una placa y depositándolos en otra. La placa donde son arrancados los electrones queda, por tanto, cargada positivamente (defecto de electrones), mientras que la placa donde se depositan se carga negativamente (exceso de electrones), formándose el polo positivo y negativo del generador. Ahora, entre dichos polos aparece una diferencia de cargas o tensión eléctrica que hace que los electrones sean fuertemente atraídos por el polo positivo.

A través del generador los electrones no pueden fluir de un polo a otro, dado que la fuerza electromotriz (**f.e.m.**) tiene un valor un poco mayor que la fuerza provocada por la tensión. El único camino posible por donde los electrones pueden moverse desde el polo negativo es el conductor, atravesando el receptor hasta llegar al polo positivo. La **f.e.m.** del generador se encarga de seguir separando las cargas continuamente, y la tensión en bornes de la pila de reponerlos a través del receptor en un movimiento continuo, completándose así lo que se conoce por circuito eléctrico, (**ver figura I.19**).

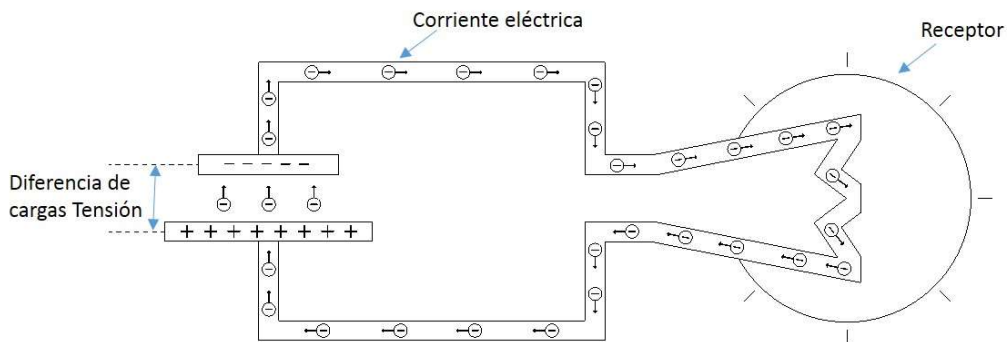


figura I.19 Movimiento de electrones por un circuito. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág.7.

La producción de electricidad por acción magnética es una de las más comunes, se basa en el principio de Faraday, es de esta forma como se produce la energía en las grandes centrales eléctricas mediante los alternadores.

Cuando se mueve un conductor eléctrico (hilo metálico) en el seno de un campo magnético (imán o electroimán) aparece una corriente eléctrica por dicho conductor, Lo

mismo ocurre si se mueve el imán y se deja fijo el conductor. En un generador eléctrico se hacen mover bobinas en sentido giratorio en las proximidades de campos magnéticos producidos por imanes o electroimanes (**figura I.20**).

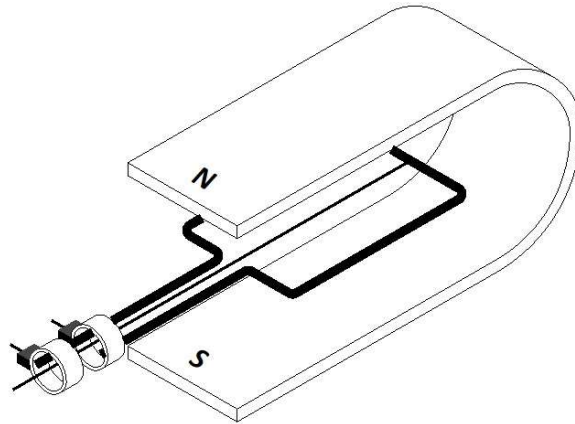


figura I.20 Al mover conductores dentro de un campo magnético se produce electricidad. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 8.

II. Intensidad de la corriente

La intensidad de la corriente eléctrica es la cantidad de electricidad que recorre un circuito en la unidad de tiempo (**figura II.2**). Esta magnitud es comparable al caudal de agua que fluye por una tubería de agua (**figura II.1**).

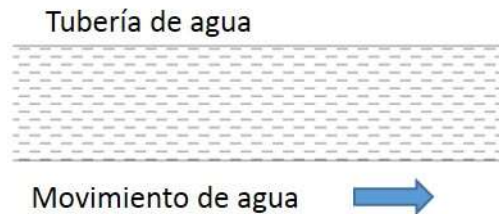


figura II.1 Caudal de agua. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 9.

$$\text{Caudal} = \frac{\text{litros}}{\text{segundo}} \dots\dots\dots\text{ec-3}$$

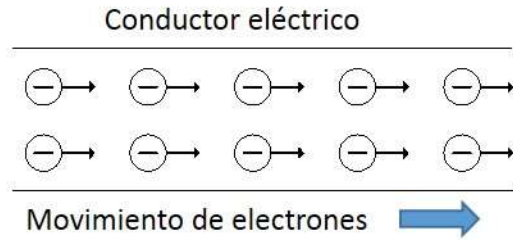


figura II.2 Intensidad de la corriente. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 9.

$$\text{Intensidad (I)} = \frac{\text{Coulombs}}{\text{segundo}} \dots\dots\dots \text{ec-4}$$

La unidad de medida de la intensidad (I) de la corriente eléctrica es el Amper (A), en honor del físico francés André Marie Ampere. De esta manera, cuando en un circuito se mueve una carga de un coulombs (C) en un tiempo de un segundo, se dice que la corriente tiene una intensidad de un amper.

$$\text{Intensidad (I)} = \frac{Q}{t} \dots\dots\dots \text{ec-5}$$

$$1A = \frac{1C}{1s} \dots\dots\dots \text{ec-6}$$

$$1C = 6.25 \times 10^{18} \text{ electrones}$$

Es decir; para una corriente de intensidad **1 ampere**, es aquella que en cada segundo transporta una cantidad de electricidad de un coulombs o que por la sección transversal del conductor circulan 6.25×10^{18} electrones en cada segundo.

II.1 Sentido real y convencional de la corriente

Las cargas positivas contenidas en los conductores están fuertemente unidas y no pueden moverse, sin embargo contienen muchos electrones libres. De esta forma, si un alambre conductor continuo está conectado a las terminales de una batería, los electrones cargados negativamente fluyen en el alambre.

Cuando el alambre se conecta por primera vez, la diferencia de potencial entre las terminales de la batería establecen un campo eléctrico en el interior del alambre y paralelo

a él, provocando que los electrones libres en el alambre experimenten un impulso hacia la terminal positiva, los electrones fluyen en contra de la dirección del campo (**sentido real de la corriente**).

Los electrones libres en un extremo del alambre son atraídos hacia la terminal positiva y, al mismo tiempo, otros electrones dejan la terminal negativa de la batería y entran al alambre por el otro extremo. Existe un flujo continuo de electrones a través del alambre que comienza tan pronto como éste se conecta a ambas terminales. Sin embargo, una corriente formada por partículas negativas que se mueven en una dirección, es eléctricamente la misma que una corriente formada por cargas positivas que se mueven en la dirección opuesta **figura II.3**.

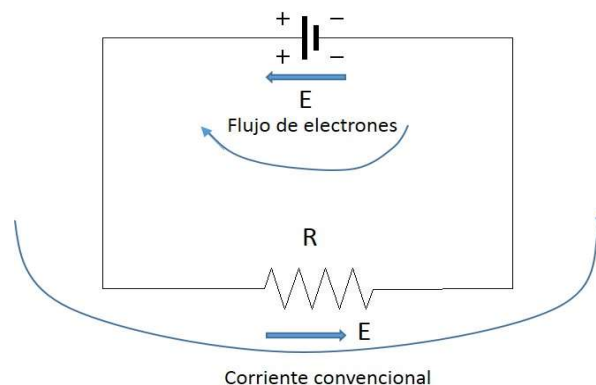


figura II.3 La corriente convencional que fluye de (+) a (-), sigue la misma dirección que el campo eléctrico E , que produce la corriente y es equivalente a un electrón negativo que fluye de (-) a (+). Observe que en un conductor metálico, la **dirección de la corriente convencional** es opuesta a la del **flujo real de electrones**. E. Tippens. (1973). Física, Conceptos y Aplicaciones, pág. 535.

Hay ciertas razones para preferir el **movimiento de la carga positiva** como un indicador de la **dirección**. En primer lugar, todos los conceptos presentados para la electrostática -por ejemplo, el campo eléctrico, la energía potencial y la diferencia de potencial- se definieron en términos de cargas positivas. Un electrón fluye en dirección contraria al campo eléctrico y “sube la pendiente de potencial” desde la terminal negativa hasta la terminal positiva (**sentido real de la corriente**). Si definimos la corriente como un flujo de carga positiva, la pérdida en energía a medida que la carga encuentra resistencia será de más (+) a (-) o “baja la pendiente de potencial” (**sentido convencional de la corriente**). **Por convención**, se considerarán todas las corrientes como un flujo de carga positiva.

II.2 Fuerza electromotriz

Para mantener una corriente continua, se requiere que los electrones se suministren en forma continua a la terminal negativa para reemplazar a los que han salido; es decir, debe

suministrarse energía para reemplazar la energía perdida por la carga en el circuito externo. De este modo, se podría mantener la diferencia de potencial entre las terminales de una batería, permitiendo un flujo de carga continuo.

El dispositivo que tiene la capacidad de mantener la diferencia de potencial entre dos puntos se llama una fuente electromotriz (**f.e.m.**)

Las fuentes de **f.e.m.** más conocidas son la batería y el generador. La batería convierte la energía química en energía eléctrica y el generador transforma la energía mecánica en energía eléctrica.

Es decir; una fuente de fuerza electromotriz (**f.e.m.**) es un dispositivo que convierte la energía química, mecánica u otras formas de ella en la energía eléctrica necesaria para mantener un flujo continuo de carga eléctrica.

La función de una fuente de **f.e.m.** en un circuito eléctrico es similar a la de una bomba de agua para mantener el flujo continuo a través de una tubería. En la **figura II.4a**, la bomba de agua debe realizar el trabajo necesario sobre cada unidad de volumen de agua, para reemplazar la energía perdida por cada unidad de volumen que fluye a través de los tubos. En la **figura II.4b**, la fuente **f.e.m.** debe trabajar sobre cada unidad de carga que pasa a través de ella para elevarla a un mayor potencial. Este trabajo debe suministrarse con una rapidez igual a la rapidez con que se pierde la energía al fluir a través del circuito.

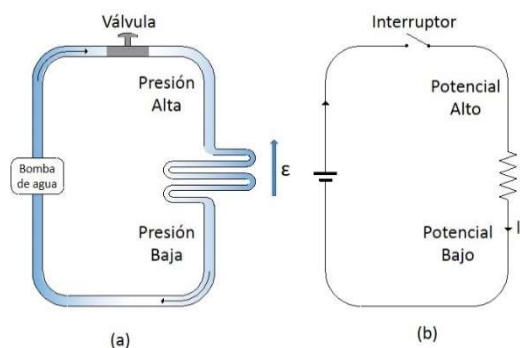


figura II.4 La analogía mecánica de una bomba de agua resulta útil para explicar la función de una fuente de **f.e.m.** en un circuito eléctrico. E. Tippens. (1973). Física, Conceptos y Aplicaciones, pág. 536.

Por convención, hemos supuesto que la corriente consiste en un flujo de carga positiva, aunque en la mayoría de los casos se trata de electrones con su carga negativa. Por tanto, la carga pierde energía al pasar a través del resistor “**R**” de un potencial alto a un potencial bajo. En la analogía hidráulica, el agua pasa de la presión alta a la baja. Cuando la válvula de intercepción se cierra, existe presión pero no hay flujo de agua. En forma similar, cuando el interruptor eléctrico se abre, hay **f.e.m.** pero no corriente.

Puesto que la **f.e.m.** es *trabajo por unidad de carga*, se expresa en la misma unidad que la *diferencia de potencial*: el **joule por culomb**, o **Volt**

Es decir; una fuente **f.e.m.** de 1 Volt realizará un joule de trabajo sobre cada coulomb de carga que pasa a través de ella.

Por ejemplo, una batería de 12 Volts realiza un trabajo de 12 Joule sobre cada coulomb de carga transferido del extremo de bajo potencial (terminal -) al extremo de alto potencial (terminal +). Casi siempre se dibuja una flecha (\uparrow) junto al símbolo \mathcal{E} de la f.e.m. para indicar la dirección en la cual la fuente, si actuara sola, haría que una carga positiva se moviera a través del circuito externo. **La corriente convencional** fluye alejándose de la terminal positiva (+) de la batería y la carga positiva hipotética fluye “pendiente abajo” través de la resistencia externa hacia la terminal negativa (-) de la batería.

II.3. Resistividad de los Conductores

II.3.1 Conductores y aislantes.

Para el buen funcionamiento de un circuito eléctrico existen dos elementos básicos, los conductores y los aislantes. Unos tienen tanta importancia como los otros, mientras que los primeros permiten el paso de la corriente con una relativa facilidad, los segundos la bloquean, es decir gracias a ellos podemos aislar de la electricidad unos cuerpos de otros.

Así, por ejemplo un cable eléctrico está formado por un alambre metálico de cobre (el conductor) y por un recubrimiento de plástico (el aislante) que impide que la corriente se fugue hacia otros lugares no deseados, al tiempo que evita fallos y descargas eléctricas (**figura II.5**).



figura II.5 Constitución de un cable eléctrico. Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 14.

Los cuerpos aislantes de la electricidad se caracterizan por impedir el paso de la corriente eléctrica a través de ellos. Este fenómeno se debe a que los electrones se encuentran ligados fuertemente a sus átomos y para arrancarlos es necesario someter al cuerpo a una elevada tensión.

No todos los aislantes poseen el mismo poder de aislamiento; así por ejemplo, son buenos aislantes el exafluoruro de azufre (SF₆), el vacío, los materiales plásticos, el vidrio y el aire seco, mientras que los textiles vegetales son poco aislantes.

En la actualidad la tecnología de los aislantes es quizás más importante que la de los conductores, sobre todo si hablamos de los materiales que se utilizan para las redes de alta y media tensión. No hay que olvidar que con tensiones elevadas, del orden de 444 KV o 220 KV, etc, la electricidad se puede abrir paso con facilidad por un aislante, pudiendo provocar accidentes o simplemente hacer inviable el transporte a tensiones elevadas. En este campo se ha avanzado mucho en la fabricación de materiales con una alta capacidad de aislamiento.

Los plásticos elaborados en diferentes formas son los grandes protagonistas de los aislantes, tanto en media como en baja tensión (PVC, polietileno, etc.).

El Exafloruro de azufre es un gas que posee una altísima capacidad de aislamiento, lo que permite aproximar las partes activas de una instalación sin que haya peligro.

Las cámaras de vacío resultan un aislante fabuloso en interruptores de media tensión.

La porcelana no es tan buen aislante, pero al soportar altas temperaturas es ideal para algunas aplicaciones (portalámparas).

A diferencia de los aislantes, los conductores permiten con facilidad el movimiento de electrones por su estructura molecular. Prácticamente, todos los metales son buenos conductores, pero unos son mejores que otros.

A continuación se expone una lista en la que aparecen clasificados algunos materiales conductores. Comenzando por los mejores y terminando por los peores. **Platino, plata, cobre, oro, aluminio, cinc, estaño, hierro, plomo, maillechort, mercurio, níquel, carbón.**

La plata es un excelente conductor de la electricidad, pero debido a su alto costo, se emplea solamente cuando sus propiedades sean particularmente interesantes, como en los contactos de apertura y cierre de circuitos.

El material más empleado es el cobre, que conduce casi tan bien como la plata, siendo su costo muy inferior. El aluminio se utiliza en las líneas de transporte, ya que su peso es menor que el del cobre.

Por otro lado, se fabrican materiales a base de aleaciones como el micrón (níquel-cromo), el constantán (cobre-níquel), el ferroníquel (hierro-níquel), el maillechort (cobre-cinc-níquel) y otras muchas más, que poseen la característica de ser mucho peor conductores que el cobre, lo que les hace útiles como materiales resistivos para la fabricación de resistencias (reóstatos, elementos calefactores, etc).

El carbón es bastante mal conductor lo que le hace ideal para la fabricación de pequeñas resistencias para circuitos electrónicos.

II.3.2 Resistencia eléctrica.

La resistencia (R) se define como la oposición a que fluya la carga eléctrica. Aunque la mayoría de los metales son buenos conductores de electricidad, todos ofrecen cierta oposición a que el flujo de carga eléctrica pase a través de ellos. Esta resistencia eléctrica es fija para gran número de materiales específicos, de tamaño, forma y temperatura conocidos. Es independiente de la **f.e.m** aplicada y de la corriente que pasa a través de ellos.

La resistencia de los diferentes materiales depende fundamentalmente de su naturaleza, las dimensiones de los mismos también influyen de una forma decisiva en su resistencia final. Esto tiene una especial importancia en los cálculos de la sección de conductores para instalaciones eléctricas, ya que una resistencia elevada en los mismos provocaría su calentamiento y su probable deterioro

La resistencia eléctrica como unidad de medida nos va a ayudar a diferenciar los cuerpos que son mejores conductores de los que son peores, de tal manera que podemos decir que un mal conductor posee mucha resistencia eléctrica, mientras que uno bueno tiene poca. De esta manera podemos decir que: *“La resistencia eléctrica es la mayor o menor oposición que ofrecen los cuerpos conductores al paso de la corriente eléctrica”*.

Este fenómeno se podría explicar así: cuando los electrones circulan por un conductor, éstos tienen que moverse a través de todos los átomos, produciéndose una especie de rozamiento (resistencia al movimiento de electrones) que se transforma en calor (**figura II.6**). Estos choques son menores en los mejores conductores que en los malos.

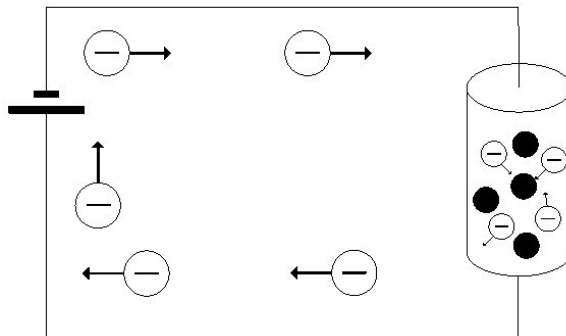


figura II.6 La resistencia se manifiesta como una oposición al movimiento de electrones. . Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 14.

La unidad de medida de la resistencia eléctrica (R) es el Ohm y se representa por la letra griega “ Ω ”

II.3.4 Ley de Ohm.

El físico Georg Simón Ohm, en 1826, basándose en un experimento, determinó que la intensidad de la corriente que recorre un circuito eléctrico es directamente proporcional a la tensión aplicada (a más tensión “V”, más intensidad “I”), e inversamente proporcional a la resistencia eléctrica (a mayor resistencia “R”, menos intensidad “I”).

$$I = \frac{V}{R}; \quad \text{o} \quad V = I R \quad \text{o} \quad R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots\text{ec-7}$$

$$1 \Omega = \frac{1V}{1A};$$

Una resistencia de un Ohm permitirá una corriente de un amperio cuando se aplica a sus terminales una diferencia de potencial de un Volt.

Esta relación se puede explicar así: al conocer una resistencia a los bornes de una pila, aparece una corriente eléctrica que circula desde el polo negativo de la pila atravesando dicha resistencia, hasta el positivo de la pila (**figura II.7**). *Hay que recordar que si existe una corriente eléctrica es gracias a que el generador traslada las cargas del polo positivo al negativo, creando así una diferencia de cargas, que llamamos tensión eléctrica.*

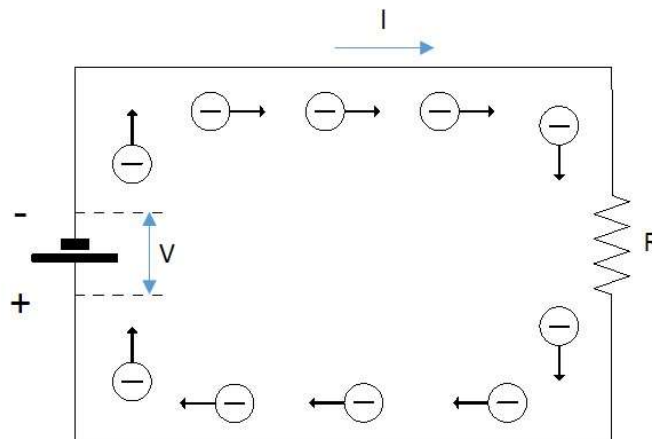


figura II.7 Tensión eléctrica. . Alcalde P. (2014). *Electrotecnia*, pág. 15.

Cuanto mayor es la tensión eléctrica, con mayor fuerza atraerá el polo positivo de la pila a los electrones que salen del negativo y atraviesan la resistencia y por tanto, será mayor también la intensidad de la corriente por el circuito.

Cuanto mayor sea el valor óhmico de la resistencia que se opone al paso de la corriente eléctrica, menor será la intensidad de la misma.

II.3.5 Resistividad de un conductor.

La resistividad es la resistencia eléctrica específica de cada material para oponerse al paso de una corriente eléctrica. Se designa por la letra griega rho minúscula (ρ) y se mide en ohms por metro. Su valor describe el comportamiento de un material frente al paso de corriente eléctrica, por lo que da una idea de lo buen o mal conductor que es. Un valor alto de resistividad indica que el material es mal conductor, mientras que uno bajo indicará que es un buen conductor.

La resistividad es independiente del voltaje y de la cantidad de carga y a diferencia de la resistencia, que depende de la forma del conductor, la resistividad sólo depende del material del que está hecho el conductor y no de su forma.

La resistencia de un alambre que tiene un área de sección transversal uniforme, como el que se muestra en la **figura II.8**, se determina por los cuatro siguientes factores:

1. Tipo de material
2. Longitud
3. Área de la sección transversal
4. Temperatura

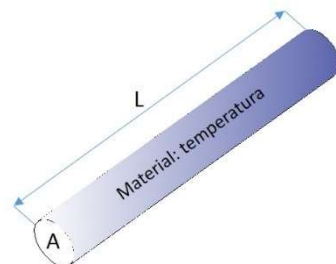


figura II.8 La resistencia de un alambre depende de la clase de material, su longitud, el área de su sección transversal y su temperatura. E. Toppens. (1973). Física, Conceptos y Aplicaciones, pág. 540.

Ohm, el físico alemán que descubrió la ley que ahora lleva su nombre, informó también que la resistencia de un conductor a una temperatura dada es directamente proporcional a su longitud, e inversamente proporcional al área de su sección transversal y depende del material del cual está hecho.

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots ec-8$$

Donde R = resistencia

L = longitud

A = área

Es lógico pensar que, si la resistencia eléctrica es la dificultad que ofrece un conductor al paso de la corriente eléctrica, esta dificultad irá aumentando en función del camino que tenga que recorrer; es decir, a mayor longitud, mayor será la resistencia. Si, por el contrario, se aumenta la sección del conductor los electrones tendrán más libertad para moverse y por tanto, la resistencia será menor.

La constante de proporcionalidad (ρ) es una propiedad del material llamada **resistividad**, dada por

$$\rho = \frac{RA}{L} \dots\dots\dots ec-9$$

La resistividad varía considerablemente de acuerdo con el tipo de material y también se ve afectada por cambios de temperatura. Cuando “R” está en ohms, “A” en metros cuadrados y “L” en metros, la unidad de resistividad es ohm-metro ($\Omega \cdot m$).

$$\frac{\Omega \cdot m^2}{m} = \Omega \cdot m \dots\dots\dots ec-10$$

TABLA I Resistividad y coeficiente de temperatura a 20° C		
Material	Resistividad ρ ($\Omega \cdot m$)	Coficiente de temperatura α (C°)⁻¹
Conductores		
Plata	1.59 x 10⁻⁸	0.0061
Cobre	1.68 x 10⁻⁸	0.0068
Oro	2.44 x 10⁻⁸	0.0034
Aluminio	2.65 x 10⁻⁸	0.00429
Tungsteno	5.6 x 10⁻⁸	0.0045
Hierro	9.71 x 10⁻⁸	0.00651
Platino	10.6 x 10⁻⁸	0.003927
Mercurio	98 x 10⁻⁸	0.0009
Nicromo (aleación de Ni, Fe y Cr)	100 x 10⁻⁸	0.0004
Semiconductores *		
Carbono (grafito)	(3-60) x 10⁻⁵	-0.0005
Germanio	(1-500) x 10⁻³	-0.05
Silicio	0.1-60	-0.07
Aisladores		
Vidrio	10⁹-10¹²	
Hule duro	10¹³-10¹⁵	

* Los valores dependen enormemente de la presencia de incluso ligeras cantidades de impurezas.

II.3.5.1 La resistividad depende de la temperatura.

La resistividad de un material depende un tanto de la temperatura. En general, la resistencia de los conductores metálicos aumenta con la temperatura. Esto no es de sorprender, porque, a mayores temperaturas, los átomos se mueven más rápidamente y están acomodados en una forma menos ordenada en el conductor. Así que cabe esperar que interfieran más con el flujo de electrones. Si el cambio de temperatura no es tan grande, la resistividad de los metales generalmente aumenta de manera casi lineal con los cambios de temperatura. Esto es

$$\rho_T = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \dots\dots\dots ec-11$$

Donde ρ_0 es la resistividad en alguna temperatura de referencia T_0 (como a 0 o 20 °C), ρ_T es la resistividad a una temperatura T, y α es el coeficiente de temperatura de resistividad, en la Tabla I se proporcionan valores para α .

El incremento en la resistencia de un conductor a causa de la temperatura es lo suficientemente grande como para medirlo con facilidad. Este hecho se aprovecha en los termómetros de resistencia para medir temperaturas con bastante exactitud. Debido al alto punto de fusión de algunos metales, los termómetros de resistencia se pueden usar para medir temperaturas extremadamente altas.

Hay que hacer notar que el coeficiente de temperatura para los semiconductores puede ser negativo, porque parece que, a temperaturas más altas, algunos de los electrones, que normalmente no son libres en un semiconductor, se liberan y pueden contribuir a la corriente. De esta manera, la resistencia de un semiconductor podría disminuir con un aumento en la temperatura, aunque este no siempre es el caso.

Por otra parte, la “**conductancia**” de un conductor es la propiedad física que consiste en la facilidad que posee para transportar los electrones; de ahí a que dicha propiedad se exprese por el inverso de la resistencia:

Representando por “**C**” a la conductancia y por **R** la resistencia, se obtiene:

$$C = \frac{1}{R} \dots\dots\dots ec-12$$

Cuando la conductancia se refiere a la unidad de longitud de un conductor de sección unidad, lleva el nombre de conductancia específica. La unidad práctica para medir la conductancia es el **MHO**, palabra que se obtiene al invertir la palabra **OHM**.

$$MHO = \frac{1}{OHM} \dots\dots\dots ec-13$$

II.3.6 Resistencia de los aislantes.

Ya se dijo que los materiales aislantes o dieléctricos tienen tanta importancia en las aplicaciones prácticas de la electricidad como los conductores. Gracias a los aislantes es posible separar las partes activas de una instalación con las inactivas, consiguiendo así instalaciones eléctricas que sean seguras para las personas que las utilizan.

Lo mismo que existen materiales que son mejores conductores que otros, también existen materiales con mayor capacidad de aislamiento que otros. De tal forma, que cuanto mayor es la resistividad de un aislante, mayor será su capacidad de aislamiento.

Los aislantes tienen una característica muy especial: Su resistencia disminuye con la temperatura

Dar una cifra exacta de la resistividad de cada uno de los aislantes es un poco complicado, ya que ese valor se suele ver reducido por el grado de humedad y por la elevación de la temperatura. Así por ejemplo, el agua pura posee una resistividad aproximada de $10 \Omega \cdot m^2/m$.

II.3.7 Rigidez dieléctrica.

Otra forma de medir la calidad de aislamiento de un material es conociendo su rigidez dieléctrica.

La rigidez dieléctrica de un material es la tensión que es capaz de perforar al mismo (corriente eléctrica que se establece por el aislante). Lo cual quiere decir que los materiales aislantes no son perfectos, ya que pueden ser atravesados por una corriente si se eleva suficientemente la tensión.

Así, por ejemplo en una tormenta eléctrica, la fuerte tensión entre la nube y tierra es capaz de perforar un buen aislante: el aire.

Cuando un aislante es perforado por la corriente, la chispa que lo atraviesa suele provocar la destrucción del mismo, sobre todo si se trata de un material sólido, ya que las temperaturas que se desarrollan suelen ser altísimas.

Conocer la tensión que es capaz de perforar un aislante es muy importante. De esa forma, podremos elegir los materiales más adecuados en el momento de aislar una línea, o cualquier aparato eléctrico, consiguiendo así evitar averías, cortos circuitos y accidentes a las personas que manipulan instalaciones sometidas a tensiones peligrosas.

La tensión necesaria para provocar la perforación del dieléctrico viene expresada en kV por milímetro de espesor del aislante. Este dato no es constante y depende de la humedad contenida en el aislante, de la temperatura, de la duración de la tensión aplicada y muchas otras variables.

TABLA II Rigidez dieléctrica de los siguientes elementos

Elemento	Rigidez dieléctrica
Aire seco	3.1.0 KV/mm
Aceite mineral	4.0 KV/mm
Agua	12.0 KV/mm
Papel	16.0 KV/mm
Polietileno	16.0 KV/mm
Cloruro de polivinilo	50.0 KV/mm

Cuando se selecciona un conductor eléctrico, aparte de la sección que resulte ser la más adecuada, es muy importante tener en cuenta la tensión de servicio de la instalación donde va a trabajar. En la **NOM-001-SEDE-2012** se indican las tensiones que deberán soportar los aislantes de los conductores eléctricos con un margen de seguridad. Siguiendo estas recomendaciones se fabrican, por ejemplo, conductores de 600 V, y 1000 V para baja tensión.

Los materiales aislantes que se utilizan para conseguir estas tensiones de aislamiento en conductores para instalaciones eléctricas de baja tensión pueden ser:

- ❖ Policloruro de vinilo (PVC)
- ❖ Polietileno reticulado (XLPE)
- ❖ Etileno propileno (EPR)

II.3.8 Superconductividad.

En 1911 el físico holandés Heike Kamerlingh-Onnes al realizar experimentos con la resistividad de metales a bajas temperaturas. Usando helio líquido como medio de enfriamiento, fue capaz de enfriar metales por debajo de 4.2 K (-269 °C).

Mientras que algunos metales, como el platino y el oro, mantenían una resistividad constante a bajas temperaturas, otros metales, como el mercurio, mostraban una resistencia nula cuando estaban por debajo de la *temperatura crítica o de transición* (T_c), como se muestra en la **figura II.9**. Este fenómeno de resistencia cero o conductividad infinita se conoce como **superconductividad**. El paso de la corriente eléctrica por un superconductor no provoca ningún tipo de pérdida calorífica.

Hoy en día se están consiguiendo grandes avances en la fabricación de materiales superconductores a temperaturas mucho más elevadas (en torno a los 150 °C bajo cero).

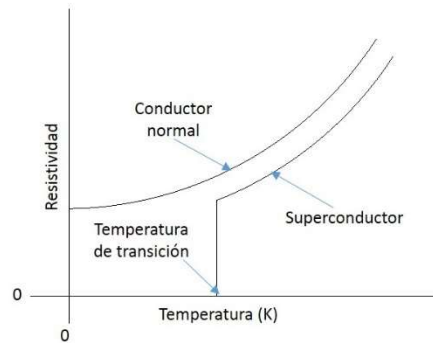


figura II.9 El cambio en la resistividad como función de la temperatura se presenta para conductores metálicos. E. Tippens. (1973). Física, Conceptos y Aplicaciones, pág. 543.

Además de sus propiedades eléctricas, los superconductores también presentan propiedades magnéticas extraordinarias cuando están por debajo de su temperatura de transición (T_c).

Cuando los superconductores están sometidos a un campo magnético, expulsan todo el flujo magnético de su interior, es decir, tienen un diamagnetismo perfecto. Una consecuencia de este fenómeno es que cuando se acerca un imán al superconductor, su diamagnetismo perfecto rechaza al imán y éste se eleva por encima del superconductor.

III. Factor de Potencia

Como ya se dijo, la *tensión alterna* de curva senoidal es la que hoy en día se utiliza en casi el 90% de los usuarios finales, por lo que es la que exclusivamente se utiliza a la hora de producir y distribuir la energía eléctrica y posteriormente, si se requiere, se puede convertir en *tensión continua*. La importancia de la *tensión alterna*, estriba en que ésta puede producirse económicamente por grandes unidades de generación, puede elevarse la tensión o reducirse fácilmente. Debido a esto, la energía eléctrica puede transportarse económicamente a grandes distancias, ver **figura III.1**.



figura III.1 Generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica

La generación y distribución de la energía eléctrica resulta tanto más rentable, cuanto mayor sea la similitud en *dirección* y *sentido*, entre la corriente y la tensión. Sin embargo, los motores de inducción, los transformadores y las bobinas de reactancia poseen la propiedad de **retardar** (*desfasar*) la *corriente* con respecto a la *tensión*, así como los motores síncronos y capacitores de **adelantar** (*desfasar*) la *corriente* con respecto a la *tensión*. A éste fenómeno se le denomina "**desplazamiento de fase**", el *ángulo de desfase* entre la *corriente* y la *tensión* da origen al concepto "**factor de potencia**", destacando que en la práctica en materia de instalaciones eléctricas *predominan* las *cargas* que *retrasan* la *corriente* respecto a la *tensión*, generando un **bajo factor de potencia**.

El concepto **factor de potencia** en un circuito de corriente alterna relaciona dos tipos de corriente, la primera corresponde a la **corriente** que produce **potencia**, denominada también como **corriente activa** o **corriente de trabajo**, en este caso la corriente es convertida por el equipo en otro tipo de energía o que le es útil para el desempeño de su trabajo, como la que hace posible que un torno gire o la que hace que se lleve a cabo una soldadura o una bomba de agua funcione, esta corriente produce **potencia activa** y su unidad es el (kW).

El segundo tipo de corriente se refiere a la **corriente magnetizante** o **corriente reactiva** o **corriente de NO trabajo**, esta sería la corriente que se requiere para producir el flujo necesario para operar los dispositivos de inducción. Sin la **corriente magnetizante**, la energía no fluiría a través del núcleo de un transformador o a través del aire de un motor de inducción. Esta corriente produce **potencia reactiva** y su unidad de medida son los Kilovoltampere reactivos (kVAR).

Así mismo la **corriente total** de un circuito eléctrico conocida también como **corriente aparente**, es la que necesita suministrar la fuente para satisfacer la demanda de **corriente activa** y **corriente reactiva** de la carga. Este tipo de corriente genera la **potencia total** o **potencia aparente** cuya unidad es el (kVA)

El factor de potencia es la relación entre la corriente que produce trabajo (corriente activa) en un circuito y la corriente total del circuito (corriente aparente) o es el porcentaje de involucramiento de la corriente activa en la corriente aparente, ver **figura III.2**.

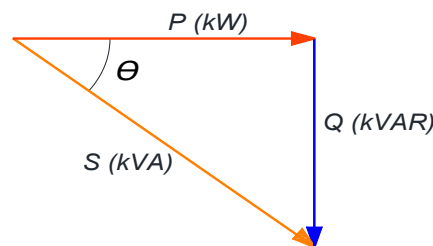


figura III.2 Triángulo de potencias

El ángulo φ , formado entre la **potencia activa “P”** y la **potencia aparente “S”** en el triángulo de potencias, es igual al *desplazamiento de fase* entre *corriente y tensión*. El $\cos \varphi$ es función directa del *desplazamiento de fase*. Por este motivo, es frecuente expresar el *desplazamiento de fase* dando el *factor de potencia*. El *factor de potencia* adopta valores comprendidos entre:

$\cos \varphi = 1$ (únicamente **Potencia Activa**, es decir $\varphi = 0^\circ$); *Tensión e Intensidad están en fase y a la vez nos indica que sus valores son aprovechados en forma total.*

$\cos \varphi = 0$ (únicamente **Potencia Reactiva**, es decir $\varphi = 90^\circ$); *Tensión e Intensidad desfasados 90°*

Si la carga también requiere **potencia reactiva** para su función (por ejemplo para crear un campo magnético), entonces el $\sin \varphi$ representa la parte de la **potencia reactiva** involucrada en la **potencia aparente**.

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S} \dots\dots\dots \text{ec-14}$$

Al $\sin \varphi$ también se le llama **factor reactivo**.

Un bajo factor de potencia, se debe a transformadores y cargas de motores de inducción, a la sustitución de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes, el uso de rectificadores, el incremento de la instalación de dispositivos de inducción, equipos electrónicos, unidades de aire acondicionado, etc.

Los efectos que se tiene en el consumidor cuando su sistema eléctrico trabaja con un bajo factor de potencia es:

- Conductores y transformadores sobrecargados
- Incremento de las pérdidas en el cobre
- Reducción en el nivel de tensión, resultando en un mal funcionamiento de motores
- Reducción en el nivel lumínico del alumbrado, especialmente cuando se utilizan luminarios incandescentes.
- Incremento de costos al consumidor por *bajo factor de potencia*

Corrigiendo o mejorando el *factor de potencia* de un sistema eléctrico (**compensación**), se reduce la *Potencia Reactiva*, lo que implica que la potencia total o *Potencia Aparente* también se vea reducida y entonces la red proporciona primordialmente *Potencia Activa*. Con ello la corriente total en los conductores resulta menor y por tanto son menores las pérdidas. Se destaca que tras la compensación la magnitud de la potencia activa no se ve alterada en lo absoluto.

Con lo anterior se incrementa o libera la capacidad eléctrica del sistema de distribución, se eleva el nivel de tensión y se reducen las perdidas en el cobre, con lo que se reducen costos al consumidor por concepto de multas calculadas por parte del suministrador de

energía eléctrica por el consumo de potencia reactiva, así como ser sujeto de bonificaciones por tener un *buen factor de potencia*,

Los capacitores y los motores síncronos son utilizados para mejorar el *factor de potencia*, sin embargo, los capacitores al ser más económicos y prácticos son los más utilizados para compensar el desfase de la corriente con la tensión y así mejorar el factor de potencia. En México, de acuerdo a las Leyes vigentes, el factor de potencia que deben tener los sistemas eléctricos de los usuarios es de 0.90 mínimo, al estar debajo de este valor el suministrador de energía eléctrica multará al usuario y al estar arriba de este valor el suministrador bonificará al usuario.

III.1 La compensación o corrección del factor de potencia y su importancia para la red de abastecimiento.

Corregir el factor de potencia no es más que calcular la potencia del banco de capacitores para *reducir el ángulo de desfase* entre *tensión e intensidad* hasta un valor recomendable para así, *poder aprovechar al máximo* dentro de ciertos límites la *potencia aparente* o de la línea que es proporcionada por la compañía suministradora de energía eléctrica.

A fin entender mejor el por qué sólo se aprovecha un tanto por ciento de la *potencia aparente* cuando se tienen cargas inductivas, es necesario indicar en un sistema de ejes coordenados los vectores tensión e intensidad con un ángulo de desfase φ , ver **figura III.3**.

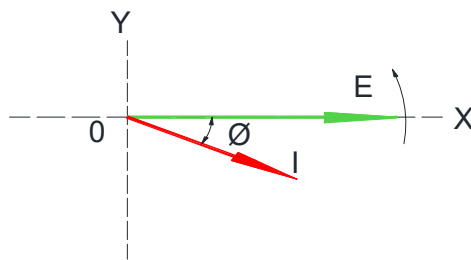


figura III.3 Tensión e Intensidad desfasados entre si un ángulo φ . Becerril L. (2018). Instalaciones Eléctricas Prácticas, pág 222.

La **intensidad** que desarrolla **trabajo efectivo**, es solamente la que está en fase con la tensión ($I \cos \varphi$) y la corriente que está proyectada sobre el eje de las ordenadas YY ($I \sin \varphi$), es la intensidad que provee al campo inductor.

Con lo expresado se corrobora que, **corregir el factor de potencia** es *reducir el ángulo de desfase* entre la *tensión* y la *intensidad* y con ello, absorber una corriente menor para una potencia dada, disminuyendo las pérdidas por efecto Joule y el pago de energía a la compañía suministradora al aprovecharse al máximo dentro de los límites marcados la potencia aparente o de la línea.

Transformadores, motores de inducción, etc., son cargas de tipo inductivo. Absorben **potencia reactiva inductiva** con frecuencia el doble de la red, para poder establecer sus campos magnéticos. Ello supone una carga especial para la empresa suministradora de energía, que resultará tanto mayor, cuanto más *desplazamiento de fase* existe. Por esta razón, la compañía suministradora de energía requiere de sus clientes que respeten un factor de potencia mínimo previamente determinado, que suele ser entre $\cos \varphi = 0.9$ y $\cos \varphi = 0.95$ (es decir ángulos de desfase entre $\varphi = 25.84^\circ$ y $\varphi = 18.19^\circ$),

Aquellos que necesiten un consumo de potencia reactiva especialmente grande, son dotados por parte de la compañía suministradora de energía de un contador de consumo reactivo.

La manera más sencilla de contrarrestar el consumo de potencia reactiva inductiva resulta conectando en paralelo capacitores (condensadores) de acción eléctrica opuesta a la de las cargas inductivas. La **potencia reactiva inductiva** Q_L tomada de la red puede compensarse total o parcialmente en función de la magnitud de la potencia reactiva capacitiva Q_C de los condensadores. Por ello, este fenómeno se denomina **compensación**, ver **figura III.4**.

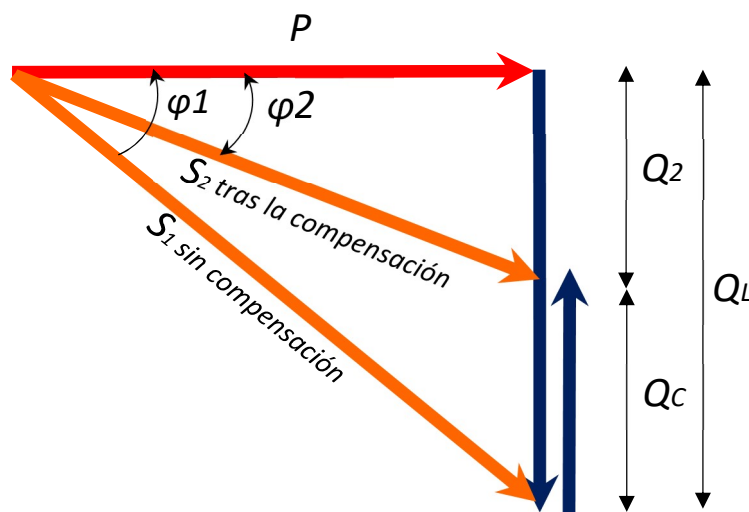


figura III.4 Triángulos de potencias compensado.

III.2 Corrección del factor de potencia

Un factor de potencia atrasado, indica que la carga requiere potencia reactiva inductiva o sea **kVAR**

Del triángulo de potencias se obtienen las siguientes relaciones:

$$\cos \varphi = \text{Factor de Potencia} = \frac{P}{S} = \frac{\text{Potencia Activa}}{\text{Potencia Aparente}} = \frac{kW}{kVA} \dots\dots\dots ec-15$$

$$\text{Sen } \varphi = \text{Factor Reactivo} = \frac{Q}{S} = \frac{\text{Potencia Reactiva}}{\text{Potencia Aparente}} = \frac{kVAr}{kVA} \dots\dots\dots ec-16$$

$$\text{Tan } \varphi = \frac{Q}{P} = \frac{\text{Potencia Reactiva}}{\text{Potencia Activa}} = \frac{kVAr}{kW} \dots\dots\dots ec-17$$

Asumiendo que se requiere determinar el valor del Banco de Capacitores para mejorar el Factor de Potencia:

- Conociendo la magnitud de la Potencia Activa = Potencia Útil = Potencia Real **P** (kW) con la que opera originalmente el sistema eléctrico a un factor de potencia (FP_1) y se desea corregir ese a un factor de potencia a (FP_2), ver figura III.5.

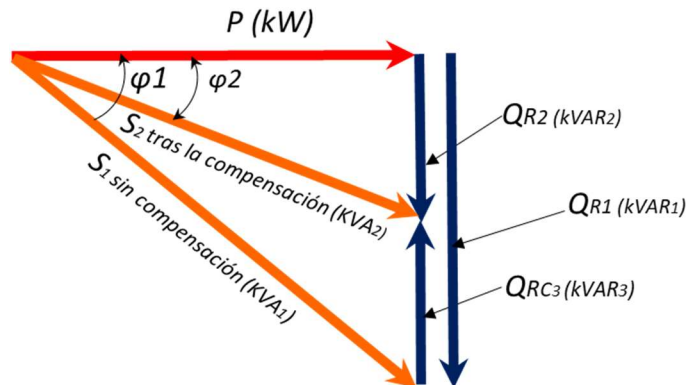


figura III.5 Triángulo de potencias compensado

1.- Calculando la Potencia Total con la que opera el sistema eléctrico o Potencia Aparente S_1 (kVA₁)

$$S_1 = \frac{\text{Potencia Activa (P)}}{\text{Factor de Potencia}_1} = \frac{kW}{FP_1} \dots\dots\dots ec-18$$

2.- Calculando la Potencia Reactiva Q_{R1} (kVAR₁) con la que opera el sistema eléctrico o la reactancia capacitiva necesaria para corregir el factor de potencia de (FP_1) a la unidad ($FP = 1$), del triángulo de potencias se deduce que :

$$Q_{R1} = \sqrt{S_1^2 - P^2} \dots\dots\dots ec-19$$

Ahora trabajando en los valores para el Factor de Potencia deseado (FP_2)

3.- Calculando la Potencia Total con la que operará el sistema eléctrico o Potencia Aparente S_2 (kVA₂)

$$S_2 = \frac{\text{Potencia Activa (P)}}{\text{Factor de Potencia}_2} = \frac{kW}{FP_2} \dots\dots\dots ec-20$$

4.- Calculando la Potencia Reactiva Q_{R2} (kVAR₂) con la que operará el sistema eléctrico o la reactancia capacitiva necesaria para corregir el factor de potencia de (FP_2) a la unidad ($FP = 1$), del triángulo de potencias se deduce que:

$$Q_{R2} = \sqrt{S_2^2 - P^2} \dots\dots\dots ec-21$$

5.- Finalmente, calculando la Potencia Reactiva Capacitiva Q_{R3} (kVAR₃) necesaria para corregir el Factor de Potencia de (FP_1) a (FP_2):

$$Q_{R3} = Q_{R1} - Q_{R2} \dots\dots\dots ec-22$$

El valor Q_{R3} sería la capacidad del banco de capacitores que se instalaría en el sistema eléctrico para lograr un factor de potencia FP_2

IV. Sobrecorriente y corto circuito

Con el propósito de dar una mejor interpretación a esta sección de mi trabajo, son necesarias las siguientes definiciones:

- Una **sobrecorriente**, es cualquier corriente que supere la corriente nominal de los equipos o la ampacidad de un conductor. La **sobrecorriente** puede provocarse por una **sobrecarga**, un **cortocircuito** o una **falla a tierra**.
- Una **sobrecarga**, es la operación de un equipo por encima de su capacidad normal, a plena carga, o de un conductor por encima de su ampacidad que, cuando persiste durante un tiempo suficientemente largo, podría causar daños o un calentamiento peligroso. Una falla, como un cortocircuito o una falla a tierra, no es una sobrecarga.
- Un **corto circuito**, es una conexión entre dos o más puntos de un circuito que están normalmente a tensiones diferentes o con el mismo módulo y desfase de 120 grados eléctricos, en la que la resistencia o impedancia de consumo del circuito es prácticamente cero y que según la Ley de Ohm, la corriente tiende a infinito.

Las corrientes de **cortocircuito** se caracterizan por un incremento instantáneo y de varias veces la corriente nominal, en contraste con las de **sobrecarga** que se caracterizan por un incremento mantenido en un intervalo de tiempo, algo mayor a la corriente nominal.

- Una **falla a tierra**, ocurre cuando entran en contacto físico un conductor en tensión eléctrica o vivo y la parte metálica de un equipo o de cualquier objeto con potencial de tierra o de suelo (**0 V**), la cual no está diseñada para conducir corriente en condiciones normales. Lo anterior debido a la falla del aislamiento que existe entre la parte metálica y el conductor con tensión.

En una **falla a tierra** la corriente no completa su circuito, si no que pasa a tierra en un lugar inesperado.

V. Conductores eléctricos.

Hay que recordar que los conductores eléctricos, son aquellos materiales que ofrecen poca oposición o resistencia al paso de la corriente eléctrica por o a través de ellos.

Todos los metales son buenos conductores de la electricidad, sin embargo, unos son mejores que otros, en orden decreciente en calidad de conducción se mencionarán solo unos:

Plata.- Es el mejor conductor pero, su uso se ve reducido por su alto costo.

Cobre.- El cobre electrolíticamente puro es el mejor conductor eléctrico, se le emplea en más del 90% en la fabricación de conductores eléctricos, por lo que reúne las condiciones deseadas para tal fin, tales como:

- Alta conductividad
- Resistencia mecánica
- Flexibilidad
- Bajo costo

Dentro de los **conductores de cobre** existen, según su temple, tres tipos.

- a. **Conductores de cobre suave o recocido.** Por su misma suavidad, tienen baja resistencia mecánica, alta elongación (aumento accidental o terapéutico de la longitud), su conductividad eléctrica es del 100%. Con aislamiento protector, se utilizan en instalaciones tipo interior, dentro de ductos, tubos conduit, engrapados sobre muros, etc.
- b. **Conductores de cobre semiduro.** Tienen mayor resistencia mecánica que los conductores de cobre suave recocido, menor elongación y su conductividad eléctrica es de aproximadamente 96.66 %. Sin aislamiento protector se usa para líneas de transmisión con distancias interpostales o claros cortos y para redes y para redes de distribución, en ambos casos sobre aisladores.
- c. **Conductores de cobre duro.** Tienen una alta resistencia mecánica, menor elongación que los de cobre semiduro y una conductividad eléctrica no menor de 96.16%, se utilizan normalmente en líneas aéreas.

Oro.- Después de la plata y el cobre, el oro es el mejor conductor de la electricidad. Su alto precio adquisitivo limita e inclusive impide su empleo.

Aluminio.- Es 61% menos conductor que el cobre suave recocido, para una misma cantidad de corriente se necesita una sección transversal mayor en comparación con conductores de cobre, además, tiene la desventaja de ser quebradizo, se usa con regularidad en líneas de transmisión reforzado en su parte central interior con una guía de acero.

V.1 Partes de un cable eléctrico

Los cables eléctricos están compuestos por el conductor, el aislamiento, una capa de relleno y una cubierta. Estos cumplen con el siguiente propósito.

Conductor eléctrico.- Es la parte del cable que transporta la electricidad y puede estar constituido por uno o más hilos de cobre o aluminio.

Aislamiento.- Este componente es la parte que recubre el conductor, se encarga de que la corriente no se escape del cable y sea transportada de principio a fin por el conductor.

Capa de relleno.- La capa de relleno se encuentra entre el aislamiento y el conductor, se encarga de que el cable conserve un aspecto circular ya que en muchas ocasiones los conductores no son redondos o tienen más de un hilo. Con la capa de relleno se logra un aspecto redondo y homogéneo.

Cubierta.- La cubierta es el material que protege al cable de la intemperie y elementos externos.

V.2 Tipos de aislamiento de cables eléctricos

Recordemos que casi todos los cables tienen una capa de recubrimiento o aislamiento para prevenir que entren en contacto unos con otros y provoquen un cortocircuito.

Se puede identificar el tipo de aislamiento que tiene un cable, de acuerdo a las inscripciones abreviadas del inglés sobre él, cuyo significado es el siguiente:

T (Thermoplastic) – Aislamiento termoplástico (esto lo tienen todos los cables).

H (Heat resistant) – Resistente al calor hasta 75 °C centígrados (167 °F).

HH (Heat resistant) – Resistente al calor hasta 90 °C centígrados (194 °F).

W (Water resistant) – Resistente al agua y a la humedad.

LS (Low smoke) – Este cable tiene baja emisión de humos y bajo contenido de gases contaminantes.

SPT (Service parallel thermoplastic) – Esta nomenclatura se usa para identificar un cordón que se compone de dos cables flexibles y paralelos con aislamiento de plástico y que están unidos entre sí. También se denomina cordón dúplex.

Tomando en consideración las condiciones de trabajo, se necesitan en la mayoría de los casos conductores con aislamiento apropiado para la temperatura, tensión y demás características según el tipo de trabajo y medio ambiente, por tanto, aquí se indican los tipos de aislamiento más usados.

Es necesario considerar.

- Que los conductores eléctricos, deben usarse de manera que la temperatura a que se puedan o deban exponer, no dañe su aislamiento.
- En lugares húmedos o en donde la acumulación de humedad dentro de los ductos sea probable, los conductores deben tener aislamiento de hule resistente a la humedad, aislamiento termoplástico resistente a la humedad, forro de plomo o un tipo de aislamiento aprobado para estas condiciones de trabajo.
- Los conductores bajo condiciones impuestas por la corrosión, como es la exposición de conductores a aceites, grasas, vapores, gases, líquidos u otras sustancias que tengan efecto destructor sobre el aislamiento y el conductor, deben ser de un tipo adecuado para tales condiciones de trabajo y medio ambiente.

Alambres y cables con aislamiento TW

Conductores de cobre suave o recocido, con aislamiento de cloruro de polivinilo (PVC); por las iniciales TW (del inglés), se tiene un aislamiento termoplástico a prueba de humedad. Se utiliza en instalaciones eléctricas en el interior de locales con ambiente húmedo o seco.

Este tipo de cable tiene las siguientes características:

- Tensión nominal 600 V
- Temperatura máxima 60 °C
- No usarlo a temperatura ambiente mayor de 35 °C
- Por su reducido diámetro exterior, ocupan poco espacio en el interior de los ductos.
- El aislamiento, aunque se encuentra firmemente adherido al conductor, se puede desprender con facilidad dejando perfectamente limpio el conductor.
- Este aislamiento no propaga las llamas.

Alambres y cables con aislamiento THW

Conductores de cobre suave o recocido, con aislamiento de goma (Plastilac), por las iniciales THW (del inglés), se tiene un aislamiento termoplástico resistente al calor y a la humedad. Con este aislamiento, los conductores tienen mayor capacidad de conducción que con TW, ocupan eso sí mayor espacio dentro de los ductos, pero se les considera el mismo si se respeta el factor de relleno.

El factor de relleno puede definirse como la relación del área utilizable con respecto al 100% dentro de las canalizaciones artículo 342 de la **NOM-001-SEDE-2012**.

Generalmente se les emplea en canalizaciones para edificios y en las instalaciones eléctricas con ambientes secos o húmedos.

Este tipo de cable tiene las siguientes características:

- Tensión nominal 600 V
- Temperatura máxima 75 °C
- No usarlo a temperatura ambiente mayor de 40 °C

Alambres y cables con aislamiento tipo Vinanel 900

Conductores de cobre suave o recocido, con aislamiento especial de Cloruro de Polivinilo (PVC), resistente al calor, a la humedad y a los agentes químicos, no propaga las llamas, gran capacidad de conducción de corriente eléctrica con este aislamiento, por tanto, se pueden ahorrar calibres en muchas ocasiones. Ocupa el mismo espacio que los aislamientos TW y THW dentro de los ductos además, resiste en forma única las sobrecargas continuas.

Generalmente se les emplea en industrias, en edificios públicos, hoteles, bodegas, en fin, en instalaciones donde se requiere mayor seguridad.

Este tipo de cable tiene las siguientes características:

- Tensión nominal 600 V
- Temperatura máxima
 - 75 °C en ambiente seco o húmedo para calibres del 6 AWG al 1000 MCM
 - 90 °C al aire o 60 °C en aceite para calibres del 14 al 8 AWG
- No debe conectarse a temperatura ambiente mayor a 60 °C

Alambres y cables con aislamiento tipo Vinanel - Nylon

Conductores de cobre suave o recocido, con aislamiento formado por dos capas termoplásticas; la primera es de Cloruro de Polivinilo (PVC) de alta rigidez dieléctrica, gran capacidad térmica y notable flexibilidad, la segunda es de Nylon de alta rigidez dieléctrica y gran resistencia mecánica.

El aislamiento tipo Vinanel – Nylon es resistente a la humedad, el calor, a los agentes químicos, tiene muy bajo coeficiente de fricción, no propaga las llamas, da a los conductores gran capacidad de conducción de corriente, además de ocupar menos espacio con respecto a los aislamientos tipo TW, THW y Vinanel 900 lo que redonda lógicamente, en notable ahorro de grandes diámetros de tuberías.

Los conductores eléctricos con aislamiento tipo Vinanel – Nylon tienen una aplicación universal en circuitos de baja tensión, pues parte de sus singulares características incluye las que corresponden a los conductores eléctricos con aislamientos TW, THW y Vinanel 900 es decir, pueden utilizarse como alimentación de secundarios de transformadores a tablero general, alambrado de tableros de distribución en baja tensión, circuitos de alumbrado y fuerza, acometidas y alambrado interior de maquinaria, conexión de controles y señalización, etc.

Este tipo de cable tiene las siguientes características:

- Tensión nominal 600 V o menos, a régimen permanente
 - Temperaturas máximas
 - 75 °C en locales húmedos o en presencia de hidrocarburos
 - 90 °C en locales secos
- Se recomienda no conectarse a temperatura ambiente mayor a 60 °C

Es fácil de introducirse en las canalizaciones por su bajo coeficiente de fricción

Cordón flexible con aislamiento tipo SPT

(Duplex uso doméstico)

Conductores de cobre suave o recocido, con aislamiento de Cloruro de Polivinilo especialmente flexible, por las iniciales SPT, se tiene un par simple termoplástico, no propaga las llamas.

Los conductores se mantienen en posición paralela en un mismo plano, por el aislamiento que posee un estrechamiento entre los dos para facilitar su separación.

Estos conductores eléctricos se usan en toda clase de lámparas de pie, televisores, etc. Estos cordones tienen el aislamiento con bastante espesor por tanto, buena protección mecánica lo que permite se les emplee para cualquier aparato doméstico portátil.

Este tipo de cordón tiene las siguientes características:

- Tensión nominal 300 V
- Temperatura máximas 60 °C
- Se recomienda no conectarse a temperatura ambiente mayor a 30 °C

V.3 Medidas de los cables eléctricos

En 1857 la compañía J.R. Brown and Sharpe creó la clasificación estandarizado de diámetros de los alambres o cables eléctricos, la **American Wire Gauge** o “**AWG**” (Calibre de Alambre Americano), fue adoptado inicialmente por los ocho mayores fabricantes de cables en los Estados Unidos de América y posteriormente su uso se extendió a gran parte de países latinoamericanos.

La escala **AWG**, también conocida como **Brown and Sharpe Wire Gauge**, es contraintuitivo, lo que significa que mientras más bajo sea el número **AWG**, más grueso será el alambre conductor. Hay que tomar en cuenta que el diámetro del cable no incluye el aislamiento.

Cada vez que una pieza de metal en bruto pasa por un proceso de trefilado (estirado en frío) por pasos sucesivos a través de hileras, el metal paulatinamente se vuelve más largo y su diámetro disminuye.

De tal forma que el **AWG** se refiere a la cantidad de veces que un metal necesita pasar a través de las hileras de trefilado a fin de lograr el diámetro deseado, por ejemplo, un alambre de **24 AWG** ha sido trefilado 24 veces.

Para la determinación de la escala **AWG** se seleccionó el diámetro más grueso, correspondiente a **0.4600** pulgadas (**calibre 4/0**) y el más delgado, **0.005** pulgadas (**calibre 36**). Así mismo, se determinaron **39** dimensiones entre dichos calibres, de tal suerte, que la razón entre un diámetro y el siguiente está dada por la progresión geométrica:

$$\left(\frac{0.4600}{0.005}\right)^{\frac{1}{39}} = 1.1229$$

Es decir, la razón entre dos diámetros consecutivos en la escala **AWG** es constante e igual a **1.1229**, por esta razón los pasos de los calibres con respecto al diámetro son regresivos, pues corresponden en realidad a los pasos del proceso de estirado del alambre.

Para los calibres de mayor grosor al **4/0 AWG**, se optó identificarlos por el área del conductor en el sistema inglés de medida.

- **Mil**, para los diámetros, es decir una milésima de pulgada.
- **Circular mil (C.M.)**, para las áreas, unidad que representa el área del círculo, con un diámetro de una Milésima de pulgada, es decir, **0.7854** Mills cuadrados.
De otra forma, se dice que se tiene **un Circular Mil** cuando el área transversal tiene un diámetro de una milésima de pulgada
- **Kcmil**, para secciones de mayor área y nos indica el área transversal de los conductores eléctricos en **Mil Circular Mills**

Debido al error admisible, para cálculo de los conductores eléctricos se considera aproximadamente:

1mm² = 2000 C.M.

1mm² = 2000 Circular Mil

1mm² = 2 Mil Circular Mil o 2 KCM

Los conductores, tanto de alimentadores principales como de circuitos derivados fueron de cobre, con aislamiento Vinanel 900 y sus tamaños se expresaron en mm² o en su

equivalente en **AWG** (American Wire Gauge) y para secciones de mayor área en **Kcmil Mil Circular Mills**, artículos **110-5 y 110-6** de la **NOM 001-SEDE 2012**.

Los conductores de los alimentadores principales y circuitos derivados se calcularon por ampacidad y por caída de tensión.

Tomando en cuenta que la ampacidad de un conductor, es la capacidad que tiene de conducción de corriente no menor a la correspondiente a la carga máxima que será alimentada y sin exceder su rango de temperatura.