



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR  
DIGITAL PARA LA DETERMINACIÓN  
AUTOMÁTICA DE LOS PARÁMETROS DE UNA  
INSTALACIÓN ELÉCTRICA INDUSTRIAL**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO ELECTRICISTA**

PRESENTA

**LUIS FERNANDO MARTÍNEZ GÓMEZ**

ASESOR DE TESIS

**DR. ANTONIO RAMOS PAZ**



MORELIA, MICHOACÁN

OCTUBRE DEL 2009

---

## **Agradecimientos**

Este trabajo es dedicado para todas las personas que creyeron en mí y me apoyaron durante el transcurso de toda mi carrera, que me dieron la mano en los momentos difíciles, compartieron conmigo los momentos de dicha y que me brindaron palabras de aliento en momentos de decepción.

Le agradezco a dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida, a mi asesor por ofrecerme su apoyo y sus conocimientos para concluir este proyecto satisfactoriamente, a mis amigos por acompañarme en los momentos complicados y de recreo, a mis maestros por poner de su tiempo y dedicación para enseñarme lo que plasme en este trabajo, y sobre todo a mi madre por ser la única que creyó en mí cuando este sueño era muy lejano.

## **Dedicatoria**

Esta tesis se la dedico especialmente a mi madre María Gómez Ramírez que siempre me apoyó, me motivó y fue la única que confió en mí para alcanzar el sueño de conquistar una carrera.

## **Resumen**

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar e implementar un simulador digital que permita obtener los parámetros para la implementación de una instalación eléctrica industrial a partir de las características de los motores a instalar y sus posiciones dentro de la instalación. Estos parámetros serán calculados de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-SE-2005) para instalaciones eléctricas.

## **Contenido**

Agradecimientos .....	ii
Dedicatoria.....	iii
Resumen.....	iv
Contenido.....	v
Lista de figuras.....	ix
Lista de tablas .....	x
Símbolos y abreviaturas.....	xi

## **Capítulo 1. Introducción a las instalaciones eléctricas**

1.1 Instalaciones eléctricas .....	1
1.2 Objetivo .....	4
1.3 Justificación .....	4
1.4 Metodología .....	4
1.5 Organización y estructura de la tesis .....	5

## **Capítulo 2. Sistemas eléctricos industriales**

2.1 Sistema eléctrico .....	6
2.2 Sistema eléctrico industrial.....	7
2.2.1 Transformador .....	7
2.2.2 Conductores .....	9
2.2.3 Motor eléctrico.....	10
2.2.4 Lámparas.....	13
2.2.5 Resistores eléctricos.....	14
2.2.6 Condensadores .....	15
2.2.7 Equipo electrónico .....	17
2.3 Normas que rigen la construcción y el diseño del sistema eléctrico .....	19
2.3.1 Norma oficial Mexicana NOM-SE-2005.....	19
2.3.2 Campos de aplicación .....	20
2.3.3 National electric code NEC .....	23
2.4 Programas comerciales para el cálculo de sistemas eléctricos industriales.....	24

2.4.1 Electromil 1.0.....	24
2.4.2 Nermal 1.2 .....	26
4.2.3 Cv especialista .....	28

### **Capítulo 3. Proyecto de un sistema eléctrico industrial**

3.1 Proyecto eléctrico .....	31
3.1.1 Condiciones de suministro.....	32
3.1.2 Características de cargas.....	33
3.1.3 Memoria descriptiva .....	33
3.1.4 Memoria de cálculo .....	34
3.1.5 Medio ambiente .....	34
3.2 Análisis de corto circuito en sistemas eléctricos industriales .....	35
3.2.1 Naturaleza de las corrientes de corto circuito.....	35
3.2.2 Fuentes de corriente de corto circuito.....	36
3.2.3 Métodos de solución .....	38
3.3 Conductores eléctricos.....	38
3.3.1 Calibre de los conductores.....	42
3.3.2 Daños por mal dimensionamiento y uso de los conductores.....	42
3.4 Canalizaciones eléctricas .....	43
3.4.1 Tubos conduit .....	43
3.4.2 Ductos .....	44
3.4.3 Charolas .....	44
3.4.4 Numero de conductores en una canalización.....	45
3.5 Protecciones .....	45
3.5.1 Principio de protección contra sobrecorrientes.....	46
3.5.2 Método practico de selección de dispositivos de protección .....	47
2.5.3 Protección contra sobrecargas con interruptores automáticos .....	47

### **Capítulo 4. Diseño e implementación del simulador**

4.1 Diseño del simulador .....	49
4.2 Estructura del simulador .....	50

4.2.1 Lectura del archivo del simulador .....	51
4.2.2 Cálculo de calibres de conductor del sistema .....	55
4.2.3 Cálculo en porciento de la caída de tensión.....	60
4.2.4 Cálculo de la capacidad del transformador.....	62
4.2.5 Cálculo de protecciones del sistema .....	64
4.2.6 Generación de resultados .....	65

## **Capítulo 5. Casos de estudio**

5.1 Caso 1 .....	68
5.1.1 Cálculo de corriente a plena carga de los motores.....	69
5.1.2 Cálculo de calibre de conductor.....	69
5.1.3 Cálculo en porciento de la caída de tensión.....	70
5.1.4 Cálculo de las protecciones para los motores .....	70
5.1.5 Cálculo de la capacidad del transformador.....	71
5.1.6 Cálculo del alimentador .....	71
5.1.7 Protección para el alimentador .....	72
5.1.8 Resultados del simulador .....	72
5.1.9 Comparación de resultados .....	73
5.2 Caso 2 .....	74
5.2.1 Determinación de corriente a plena carga de los motores .....	75
5.2.2 Determinación de calibre de conductor .....	75
5.2.3 Cálculo en porciento de la caída de tensión.....	76
5.2.4 Cálculo de las protecciones para los motores .....	76
5.2.5 Cálculo de la capacidad del transformador.....	77
5.2.6 Cálculo de alimentadores.....	77
5.2.7 Protección para los alimentadores .....	78
5.2.8 Resultados del simulador .....	78
5.2.9 Comparación de resultados .....	80
5.3 Caso 3 .....	81
5.3.1 Determinación de corriente a plena carga de los motores .....	82
5.3.2 Determinación de calibre de conductor .....	82

5.3.3 Cálculo en porciento de la caída de tensión.....	83
5.3.4 Cálculo de las protecciones para los motores .....	83
5.3.5 Cálculo de la capacidad del transformador.....	84
5.3.6 Cálculo de alimentadores.....	84
5.3.7 Protección para los alimentadores .....	85
5.3.8 Resultados del simulador .....	86
5.3.9 Comparación de resultados .....	87
5.4 Caso 4 .....	88
5.4.1 Datos de la instalación .....	88
5.4.2 Resultados del simulador .....	90
5.4.3 Comparación de resultados.....	92
<b>Capitulo 6. Conclusiones</b>	
6.1 Conclusiones.....	94
6.2 Trabajos futuros .....	94
<b>Bibliografía.....</b>	<b>95</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>96</b>

## Lista de figuras

Figura 2.1 Interior y exterior de un transformador .....	8
Figura 2.2 Conductores eléctricos .....	9
Figura 2.3 Motor eléctrico .....	10
Figura 2.4 Triangulo de potencias .....	16
Figura 2.5 Esquema de la Norma Oficial Mexicana.....	22
Figura 2.6 Plataforma del software Electromil 1.0.....	26
Figura 2.7 Plataforma del software Nermal 1.2.....	27
Figura 2.8 Plataforma del software Cv especialista 2.02.....	29
Figura 4.1 Archivo principal de especificaciones.....	50
Figura 4.2 Archivo Principal de especificaciones .....	51
Figura 4.3 Archivo de tabla de ampacidad .....	52
Figura 4.4 Archivo de corriente a plena carga del motor .....	53
Figura 4.5 Diagrama de bloques-Calculo de corriente a plena carga .....	55
Figura 4.6 Diagrama de bloques-calculo de calibre de conductor.....	57
Figura 4.7 Diagrama de bloques-calculo en porciento de la caída de tensión.....	61
Figura 4.8 Diagrama de bloques-calculo de la capacidad del transformador.....	63
Figura 4.9 Diagrama de bloques global del simulador .....	67
Figura 5.1 Circuito industrial caso 1.....	68
Figura 5.2 Circuito industrial caso 2.....	74
Figura 5.3 Circuito industrial caso 3.....	81
Figura 5.4 Circuito industrial caso 4.....	90

## Lista de tablas

Tabla 2.1 Contenido de la norma oficial Mexicana.....	22
Tabla 2.2 Conformación del National electrical code .....	24
Tabla 2.3 Comparación de software .....	30
Tabla 3.1 Relación conductor-aislamiento .....	48
Tabla 4.1 Código para la lectura de datos.....	54
Tabla 4.2 Código para el cálculo de corriente a plena carga de los motores.....	56
Tabla 4.3 Código para el cálculo de corriente máxima en un conductor.....	56
Tabla 4.4 Código para el cálculo de calibre de conductor.....	58
Tabla 4.5 Código para el cálculo de conductor para alimentadores .....	59
Tabla 4.6 Código para el cálculo de la caída de tensión.....	62
Tabla 4.7 Código para el cálculo de la capacidad de transformador .....	64
Tabla 4.8 Código Para el cálculo de protecciones de motores .....	65
Tabla 4.9 Código para la generación de resultados .....	66
Tabla 5.1 Datos del caso 1 .....	69
Tabla 5.2 Corriente a plena carga caso 1 .....	69
Tabla 5.3 Calibre de conductores caso 1 .....	70
Tabla 5.4 Caída de tensión caso 1.....	70
Tabla 5.5 Protección de motores caso 1 .....	71
Tabla5.6 Comparación de resultados caso 1.....	73
Tabla 5.7 Corriente a plena carga caso 2.....	75
Tabla 5.8 Calibre de conductores caso 2 .....	75
Tabla 5.9 Caída de tensión caso 2.....	76
Tabla 5.10 Protección de motores caso 2 .....	76
Tabla5.11 Comparación de resultados caso 2.....	80
Tabla 5.12 Corriente a plena carga caso 3 .....	82
Tabla 5.13 Calibre de conductores caso 3 .....	82
Tabla 5.14 Caída de tensión caso 3.....	83
Tabla 5.15 Protección de motores caso 3 .....	83
Tabla5.16 Comparación de resultados caso 3.....	87
Tabla 5.17 Datos de la instalación caso 4.....	89

**Lista de símbolos y abreviaturas**

Kv	Kilo Volts
Kw	Kilo watts
KVA	Kilo Volts Ampers
MVA	Mega Volts Ampers
VA	Volt Ampers
Fp	Factor de potencia
NOM-SE-2005	Norma Oficial Mexicana-Secretaria de Energia-2005
NEC	National Electrical Code
LPC	Código de protecciones contra las descargas atmosféricas
HID	Lámpara de alta intensidad de descarga
UPS	Fuente de suministro de energía ininterrumpida
REBT	Reglamento Electrotécnico de baja tensión
Cu	Cobre
Al	Aluminio
AWG	American Wire Gauge
CM	Circular Mil
PVC	Tubo Conduit de plástico rígido
Hp	Caballos de fuerza
CA	Corriente alterna
CD	Corriente directa

$N_1$	Número de vueltas en el primario
$N_2$	Número de vueltas en el secundario
$V_i$	Voltaje de entrada
$V_o$	Voltaje de salida
$B$	Flujo de la corriente

# CAPITULO 1

## INTRODUCCION A LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

En este capítulo se da una introducción, así como un panorama general acerca de las instalaciones eléctricas. También se presenta el objetivo, la justificación y la estructura de la tesis describiendo cada uno de los capítulos.

### 1.1 INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Una instalación eléctrica es un conjunto de elementos que permiten transportar y distribuir energía desde el punto de suministro hasta los equipos que la utilizan. Las instalaciones eléctricas pueden ser abiertas (conductores visibles), aparentes (en conductos o tubos), ocultas (dentro de paneles o falsos plafones), o ahogadas (en muros, techos o pisos).

Una instalación eléctrica debe distribuir la energía eléctrica a los equipos conectados con las siguientes características: capítulo

**Seguridad:** una instalación segura es aquella que no representa riesgos para los usuarios ni para los equipos que alimenta o que estén cerca.

**Eficiencia:** El diseño de una instalación debe hacerse cuidadosamente para evitar consumos innecesarios, ya sea por pérdidas en los elementos que la constituyen o por la imposibilidad para desconectar equipos o secciones del alumbrado mientras estos no estén siendo utilizados.

**Economía:** El ingeniero, frente a cualquier proyecto, debe pensar en su realización con la menor inversión posible.

**Flexibilidad:** Se entiende por instalación flexible aquella que puede adaptarse a pequeños cambios.

En [Bratu E. Campero, 2002] las instalaciones eléctricas se pueden clasificar de distintas maneras, pero las más relativas son por:

***Nivel de voltaje:*** De acuerdo al nivel de voltaje se pueden tener los siguientes tipos de instalación:

- Instalaciones no peligrosas. Cuando su voltaje es igual o menor de 12 volts.
- Instalaciones de baja tensión. Cuando el voltaje respecto a tierra no excede los 750 volts.
- Instalaciones de media tensión. Se considera un rango de 1 000 y 15 000 volts aunque algunos autores consideran equipos de hasta 34 kV.
- Instalaciones de alta tensión. Cuando los voltajes son superiores a los mencionados anteriormente.

***Lugar de instalación:*** de acuerdo al lugar donde se ubique la instalación, se pueden tener:

- Instalaciones normales en interiores o exteriores. Las que están a la intemperie deben tener accesorios necesarios para evitar la penetración de agua de lluvia aún en condiciones de tormenta.
- Instalaciones especiales. Son aquellas que se encuentran en áreas con ambiente peligroso, excesivamente húmedo o con cantidades de polvo no combustible.

El diseño de una instalación eléctrica debe hacerse dentro de un marco legal, apegados a las normas y códigos aplicables. En México la norma oficial Mexicana (NOM-SE-2005) constituye el marco legal para el proyecto y construcción de instalaciones. Existen otras normas que no son obligatorias pero que son el resultado de experiencia acumulada y que pueden servir de apoyo como son: el código nacional de los Estados Unidos de Norteamérica (*NEC*) o el código de protecciones contra las descargas atmosféricas de los Estados Unidos de Norteamérica (*LPC*).

La vida de una instalación empieza en el momento de su construcción y termina cuando esta es inservible, y aunque sería de mucha utilidad conocer el tiempo exacto de

cuanto durará la inversión, hay factores como la ejecución, las condiciones de uso, el mantenimiento, el medio ambiente, etc. que no permiten precisar este periodo.

Una instalación se alarga cuando el proyecto contempla provisiones adecuadas para posibles ampliaciones, contemplando un buen sistema de protecciones. Toda instalación se ejecuta conforme a un proyecto y cualquier modificación debe estar asentada en los planos para mantenerlos vigentes. Después de un buen proyecto se requiere de una construcción correcta que impida que la instalación se vuelva inservible prematuramente.

Entre otros factores ya mencionados, la duración de una instalación depende del envejecimiento de los materiales utilizados, principalmente de los materiales aislantes (forros de conductores, cubiertas protectoras barnices, soportes, etc.). La mayoría de los materiales aislantes son de naturaleza orgánica y se clasifican en función del grado de estabilidad térmica.

El mantenimiento consiste básicamente en limpieza, renovación de pintura, apriete de uniones, ajuste de contactos y revisión de los elementos de protección. Por otra parte deben protegerse a los equipos de malos tratos que por ignorancia o descuido puedan dañarlos.

Las condiciones del medio ambiente donde se encuentra una instalación como son la humedad, salinidad y contaminación deben ser consideradas en el proyecto. Podemos resumir que una instalación eléctrica producto de un buen proyecto, de una buena construcción y con el mantenimiento adecuado, puede durar tanto como el inmueble donde presta el servicio.

La compañía suministradora debe garantizar factores de calidad en su servicio, como una continuidad en el servicio, una regulación satisfactoria del voltaje, tener un control adecuado de la frecuencia y suprimir el contenido de armónicas, esto es necesario para tener un buen funcionamiento de todo el sistema eléctrico.

## **1.2 OBJETIVO**

- Diseñar e implementar un simulador digital para sistemas eléctricos industriales que calcule de manera automática parámetros tales como calibres de conductor, alimentadores, protecciones y transformadores.
- Contar con un instrumento confiable para validar los cálculos que determinan los parámetros para una instalación eléctrica industrial.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Una simulación eficiente de una red eléctrica, permite conocer de antemano el comportamiento de un sistema eléctrico sujeto a diversos escenarios de operación, así como diferentes parámetros.

Este trabajo propone implementar y diseñar una herramienta para propósitos de diseño y construcción de instalaciones eléctricas industriales que se apegue a la Norma Oficial Mexicana para instalaciones eléctricas NOM-SE-2005.

## **1.4 METODOLOGÍA**

La metodología aplicada a este trabajo será la que a continuación se describe:

- Revisión bibliográfica acerca de los principios de los sistemas eléctricos industriales así como de la Norma Oficial Mexicana (NOM-SEDE-2005).
- Propuesta de la realización de un simulador para la determinación de los parámetros de un sistema eléctrico industrial en base a las características de los motores y sus posiciones.
- Casos de estudio para instalaciones eléctricas.

## **1.5 ORGANIZACIÓN Y ESTRUCTURA DE LA TESIS**

**Capítulo 1 Introducción.** Se da una introducción, así como un panorama general acerca de las instalaciones eléctricas industriales. También se presenta el objetivo, la justificación y la estructura de la tesis describiendo cada uno de los capítulos.

**Capítulo 2 Sistemas eléctricos Industriales.** Se plasman los antecedentes de los sistemas eléctricos industriales, así como sus características y los elementos que la constituyen.

**Capítulo 3 Proyecto de un sistema eléctrico industrial basado en la NOM.** En este capítulo se muestra el desarrollo desde el punto de vista eléctrico de un proyecto de un sistema eléctrico industrial apegado a la norma oficial Mexicana de las instalaciones eléctricas (NOM-SE-2005)

**Capítulo 4 Diseño e implementación del simulador.** Se diseña e implementa un simulador digital en lenguaje C capaz de obtener los parámetros necesarios para implementar una instalación eléctrica industrial, basado en la metodología descrita en el capítulo número 3.

**Capítulo 5 Casos de estudio.** En este capítulo se utiliza el simulador diseñado e implementado en el cálculo los parámetros de varias instalaciones eléctricas industriales.

**Capítulo 6 Conclusiones.** En este capítulo se muestran las conclusiones generales obtenidas en el desarrollo de este trabajo de tesis así como se realizan algunas sugerencias para trabajos futuros asociados con el tema desarrollado.

## **CAPITULO 2**

### **SISTEMAS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES**

En este capítulo se plasman los antecedentes de los sistemas eléctricos industriales, así como sus características y los elementos que la constituyen, de tal forma de que se tengan las bases para constituir el proyecto que se pretende.

#### **2.1 SISTEMA ELÉCTRICO**

En la actualidad la electricidad juega un papel muy importante en el funcionamiento y control de los equipos y en el desarrollo de técnicas modernas que permiten mejorar los procesos industriales, todo ello, en función del aprovechamiento óptimo de los recursos primarios, la eficiencia energética y la armonía con el medio ambiente.

Puesto que la electricidad recorre un largo camino desde su generación en las centrales, hasta su utilización final para alimentar todo tipo de instalaciones, el sistema eléctrico suele ser clasificado en subsistemas o sistemas secundarios. Una clasificación del sistema eléctrico se enuncia a continuación:

- Sistema de Generación.
- Sistema de Transmisión.
- Sistema de Distribución.
- Sistema de Transformación.
- Consumidor Final por Sectores (Industrial, Comercial, Residencial y Rural).

En un sistema eléctrico los consumidores finales o equipos eléctricos suelen clasificarse por sectores económicos, debido a los diferentes niveles de tensión, aislamiento y demanda de potencia que en ellos se maneja. Las aplicaciones y equipos son muy similares entre los diferentes sectores, siendo el industrial el que marca la diferencia en cuanto a la variedad de los equipos, potencia demandada y el nivel de voltaje en la instalación. En este sentido, en

las secciones siguientes se hará énfasis especial en el comportamiento del sistema eléctrico a escala industrial.

## **2.2 SISTEMA ELECTRICO INDUSTRIAL**

Una instalación eléctrica industrial tiene como objeto suministrar la energía eléctrica, bajo las condiciones más apropiadas para cada uso, a los diversos puntos de consumo que existen en las fábricas. Estos puntos de consumo, no son más que el conjunto de equipos o cargas eléctricas que utilizan la energía para la generación de movimiento y/o generación de calor.

En el entorno industrial, existe una gran variedad de equipos eléctricos que operan en función de un proceso determinado, siendo los más comunes los siguientes:

- Transformador.
- Conductores (cables y barrajes).
- Motores Eléctricos.
- Lámparas.
- Resistores Eléctricos.
- Condensadores (Capacitores)
- Equipos Electrónicos, etc.

A continuación se hará una breve descripción de cada uno de ellos:

### **2.2.1 Transformador**

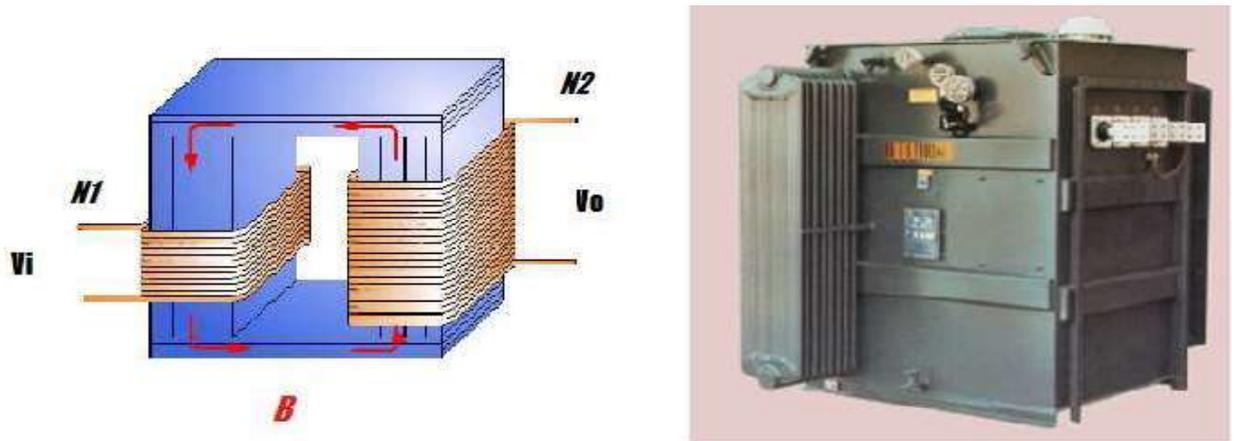
El transformador es un dispositivo eléctrico que consta de una bobina de cable situada junto a una o varias bobinas más, y que se utiliza para modificar los niveles de tensión y unir dos o más circuitos de corriente alterna aprovechando el efecto de inducción entre las bobinas. La bobina conectada a la fuente de energía se denomina bobina primaria. Las demás bobinas reciben el nombre de bobinas secundarias. Un transformador cuyo voltaje secundario sea superior al primario se llama transformador elevador. Si el voltaje

secundario es inferior al primario, este dispositivo recibe el nombre de transformador reductor.

Los parámetros más importantes a tener en cuenta en la evaluación del transformador son:

- Potencia nominal.
- Relación de transformación ( $V$  primario /  $V$  secundario).
- Factor de potencia
- Corrientes de entrada (primario) y salida (secundario).
- Pérdidas nominales (en hierro y en el cobre)

En la Figura 2.1 se muestra el interior y exterior de un transformador:



**Figura 2.1** Transformador

Según su forma constructiva, los transformadores pueden ser:

- En baño de aceite: Los devanados y el núcleo se encuentran sumergidos para refrigeración y aislamiento en un baño de aceite mineral, siendo estos los más utilizados.

- En seco: En ellos los devanados y el núcleo no se encuentran sumergidos en un líquido de refrigeración y aislamiento

### 2.2.2 Conductores

Los conductores en baja tensión se clasifican en dos tipos básicos:

#### 1) Embarrados:

Una de las formas más empleadas para conducir corrientes altas es la utilización de embarrados, es decir, conductores macizos de cobre, aluminio, o aleaciones de éste, de diversas formas: rectangulares, normalmente (llamadas platinas), y en casos especiales, en forma de tubo o en U.

En los centros de transformación han sido utilizados tradicionalmente para la entrada de la energía eléctrica al transformador, y su salida hasta los centros generales y parciales de distribución en baja tensión. En la Figura 2.2 se muestra la estructura de un conductor eléctrico.



**Figura 2.2** Conductor eléctrico

#### 2) Cables

Los cables se utilizan de una forma muy amplia en las instalaciones eléctricas; tanto en el transporte y distribución a medias tensiones como en redes aéreas o subterráneas de distribución de energía en baja tensión o en instalaciones interiores o receptoras.

Los cables también suelen ir desde el centro de transformación hasta equipos especiales de gran potencia, o bien hasta tableros generales o parciales, desde donde parten otros cables de menor capacidad de transporte, formando así redes interiores que abastecen las distintas necesidades de consumo de los equipos de una instalación. La elección de un cable apropiado, en baja tensión, debe fundamentalmente tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Intensidad máxima admisible.
- Caída de tensión.
- Pérdidas ( $I^2 \times R$ )

### 2.2.3 Motor eléctrico

Se llama motor eléctrico al dispositivo capaz de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Básicamente, un motor está constituido de dos partes, una fija denominada estator, y otra móvil respecto a esta última denominada rotor. Ambas están fabricadas en material ferromagnético, y disponen de una serie de ranuras en las que se alojan los hilos conductores de cobre que forman el devanado eléctrico.

En todo motor eléctrico existen dos tipos de devanados: el inductor, que origina el campo magnético para inducir las tensiones correspondientes en el segundo devanado, que se denomina inducido, puesto que en él aparecen las corrientes eléctricas que producen el par de funcionamiento deseado (torque). En la Figura 2.3 se puede observar la estructura interna de un motor convencional:

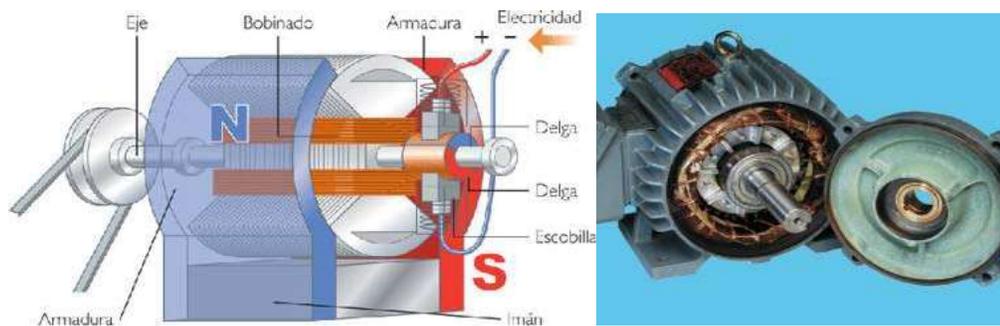


Figura 2.3 Motor eléctrico.

Los motores eléctricos se clasifican en dos grandes grupos según el tipo de corriente que necesita el inducido para su funcionamiento:

1) Corriente continúa:

Este tipo de motor se clasifica de acuerdo al sistema de excitación en:

- Independiente.
- Paralelo (Derivación).
- Serie
- Compuesto (combinación serie / paralelo).

Los motores de corriente continua se distinguen del resto de los motores eléctricos por su gran facilidad para la regulación de velocidad. Por tal motivo, son esenciales para todas aquellas aplicaciones que precise:

- Grandes variaciones de velocidad.
- Cambios o inversiones rápidas en la marcha.
- Control automático de pares y velocidad.

2) Corriente alterna:

Como su nombre lo indica, estos motores funcionan con corriente alterna, y se dividen en dos grandes grupos:

a) Asíncronos (Inducción):

En la industria cerca del 90% de la energía consumida es utilizada para la demanda de fuerza motriz en todo tipo de accionamientos. Esta demanda se cubre, en su mayor parte y para velocidades constantes, mediante los motores de inducción monofásicos y trifásicos.

Debido a simplicidad en el funcionamiento, a su robustez y sencillez, a su bajo costo, a la ausencia de colector y a su bajo costo de mantenimiento, el motor de inducción es un excelente transductor para la conversión continua de energía eléctrica en mecánica.

En general, existen dos tipos de motores de inducción que se clasifican de acuerdo a su característica constructiva:

- Jaula de ardilla (rotor en corto circuito).
- Rotor devanado.

La desventaja de los motores asíncronos es que presentan un alto consumo de energía reactiva, por lo que el factor de potencia (relación Potencia aparente total / potencia útil) en ocasiones resulta bajo.

Con respecto a la utilización de motores monofásicos, éstos son útiles cuando la potencia requerida para accionar la carga es pequeña y se disponga únicamente de suministro de energía monofásica. Por ejemplo, para electrodomésticos (aspiradoras, refrigeradores, ventiladores, batidoras, etc.), equipos de oficina, máquinas y herramientas portátiles, accionamientos pequeños industriales, equipos para agricultura, etc.

Algunas características desfavorables de este tipo de motor, en comparación con los motores trifásicos, son:

- La caída de velocidad al aumentar el par resistente (torque) es más alta.
- El rendimiento es menor.
- El factor de potencia es más reducido que en los motores trifásicos.

b) Síncronos:

Se llaman sincrónicos porque su característica principal es la de girar a velocidad constante e igual a la velocidad sincrónica, la cual depende del número de polos de la máquina y la frecuencia de alimentación de la red.

$$\eta = \frac{(120 \times f)}{2p} \quad (2.1)$$

Donde:

$\eta$  = velocidad de giro (rpm).

$p$  = Número de polos.

$f$  = Frecuencia.

Este tipo de motor sustituye a los motores asíncronos sólo en aplicaciones que requieran características especiales, como por ejemplo cargas que no requieran variación de velocidad o para la compensación de energía reactiva, dado que su factor de potencia es casi la unidad (1.0). También, presentan un mejor rendimiento que los asíncronos de la misma velocidad (aproximadamente un 2% mayor), pero son más costosos y precisan de un mantenimiento más cuidadoso que los motores asíncronos.

#### **2.2.4 Lámparas**

Las lámparas son empleadas en la iluminación de espacios industriales, tanto en interiores como exteriores. Las lámparas a elegir para una aplicación específica, serán aquellas cuyas características se adapten mejor a las necesidades y características de cada instalación. Existen básicamente tres tipos de lámparas en la industria:

- Lámpara incandescente: Son fuentes de iluminación en las que la luz se produce por un filamento calentado a incandescencia por una corriente eléctrica. Las partes principales de una lámpara de este tipo son: el filamento, la bombilla, base y gas de relleno. De todas las fuentes luminosas que por lo general se usan, las lámparas incandescentes tienen el menor costo inicial, la eficiencia luminosa más baja y la vida más corta.
- Lámparas Fluorescentes: A este grupo corresponden las lámparas de descarga eléctrica y de mercurio a baja presión, en las que un recubrimiento de fósforo transforma en luz parte de la energía ultravioleta generada por la descarga. Las partes principales de una lámpara fluorescente son: la bombilla (Tubo), electrodos, gas de relleno, recubrimiento de fósforo y bases. Las actividades para la conservación de la energía han enfocado la atención en un tipo especial de lámpara denominado fluorescente compacta, la cual presenta un

rendimiento más elevado y una mayor vida útil (dura hasta cuatro veces más que una lámpara fluorescente convencional), aunque un mayor costo de adquisición.

- Lámparas de alta intensidad de descarga (HID): Este es un término que denota un grupo general de lámparas de mercurio a alta presión, de halogenuro (haluro) metálico y las de sodio de alta presión. Una lámpara de mercurio es una lámpara de descarga eléctrica en la que la mayor parte de la radiación se produce por la excitación de átomos de mercurio. Una lámpara de halogenuro es aquella en la cual la luz se produce por la radiación de una mezcla excitada de un vapor metálico (mercurio) y los productos de la disociación de halogenuros (por ejemplo halogenuros de talio, indio, sodio). Una lámpara de sodio a alta presión es una lámpara de descarga eléctrica en la que la radiación se produce por la excitación de vapor de sodio.

### **2.2.5 Resistores eléctricos**

El resistor es un elemento que se opone a la circulación de la corriente eléctrica, de tal forma que es el ideal para la limitación de corrientes tanto a pequeña escala en circuitos electrónicos (control industrial), así como a gran escala en el arranque de grandes motores.

De igual forma, es un elemento primordial para la generación de calor en un proceso industrial, es decir, el resistor es un elemento pasivo que disipa, en forma de calor, la energía absorbida de una fuente eléctrica.

En un sistema eléctrico industrial es común encontrar resistores en equipos y procesos tales como:

- Hornos eléctricos industriales.
- Secadoras.
- Extrusoras.
- Precalentamiento de combustible en calderas.
- Precalentamiento de aire en sistemas de aire comprimido.
- Calentadores eléctricos de agua.
- Conductores y líneas de transmisión (componente resistiva).

- Lámparas o bombillas incandescentes.
- Planchas industriales.
- Cocinas industriales (estufa, tostadora, hornos, secadoras, cafetera, etc.)
- Escobillas (grafito) y anillos rozantes en motores.
- Reóstatos y limitadores de corriente en circuitos electrónicos.

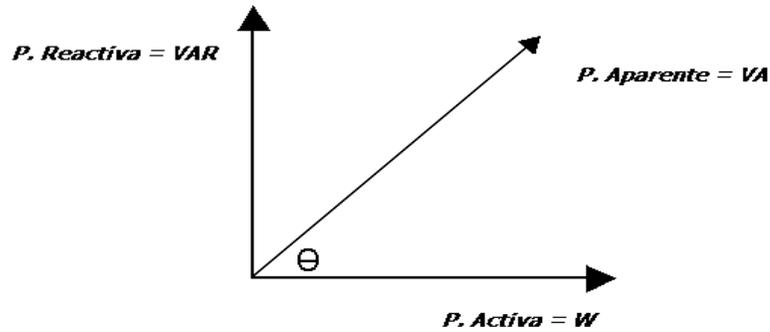
A pesar que el resistor tiene una excelente aplicabilidad en los procesos que demanden calor, éste se convierte en un elemento macroconsumidor de energía eléctrica cuando dichos procesos son continuos, lo que origina que los costos de facturación de la energía eléctrica sean altos. En este sentido, muchas de las industrias han optado por cambiar el recurso eléctrico para la generación de calor por otro tipo de recurso (energía térmica a base de carbón, gas o *fuel-oil*).

### 2.2.6 Condensadores (Capacitores)

La potencia en una instalación industrial se puede descomponer como:

- Potencia Activa: En la cual la energía eléctrica consumida por un aparato se transforma en trabajo mecánico o en cualquier otra forma de trabajo útil. Su unidad es el Vatio (W).
- Potencia Reactiva: Es la que no produce trabajo físico directo y sirve para alimentar los campos magnéticos necesarios para el funcionamiento de equipos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, hornos de arco e inducción, etc.
- Potencia Aparente: Es el producto de la corriente de carga por el voltaje aplicado a los terminales de entrada, es decir, la potencia suministrada por la fuente. Unidad: Voltamper (VA).

La Potencia Aparente también se define como la suma vectorial entre la Potencia Activa y la Potencia Reactiva, de la cual resulta del triángulo de potencia que se muestra en la Figura 2.4:



**Figura 2.4** Triángulo de potencia

Del triángulo de potencia se deducen los siguientes términos:

$$Q = V \times I \sin \theta \quad (2.2)$$

$$S = V \times I \quad (2.3)$$

$$P = V \times I \cos \theta \quad (2.4)$$

$$\cos \theta = \frac{P}{S} = (f.p.) \quad (2.5)$$

La potencia reactiva requerida por las cargas se puede generar mediante condensadores estáticos (o capacitores) en los mismos centros de consumo. De esta forma, el sistema de transmisión y distribución no tienen que “soportar” la circulación de altas corrientes reactivas y se evitarán, en gran medida.

Los condensadores son, entonces, la fuente más común para generar reactivos capacitivos y proporcionan un método altamente flexible para corregir el factor de potencia. Algunas de las características y ventajas que ofrecen los condensadores son las siguientes:

- Son equipos estáticos, sin partes móviles que se desgasten, que tienen alta eficiencia y son económicos para instalar y mantener.

- Sirven para mejorar el factor de potencia de uno o de todos los motores y pueden ser instalados en puntos del sistema donde sean más necesarios.
- Las pérdidas en los capacitores son despreciables y si se dejan conectados a la línea cuando los equipos se apaguen, su consumo de potencia es insignificante.
- Cuando se pretenda reducir las pérdidas, aumentar la capacidad y obtener mejor regulación de voltaje, los capacitores deben ser localizados tan cerca como sea posible a las cargas que requieran los kVARS capacitivos.
- Si es únicamente para disminuir el costo de la energía, la localización de los capacitores puede ser centralizada.
- Sin importar en que punto se encuentre el capacitor, los beneficios siempre son obtenidos desde el punto de la instalación hacia la fuente de potencia.

### **2.2.7 Equipos Electrónicos**

El empleo de equipo electrónico en la industria se ha venido incrementando con una gran rapidez. La electrónica ha hecho posible automatizar muchos procesos industriales, de esta manera se reducen los costos por debajo de lo que el hombre devenga por hacer el mismo trabajo.

Además, con la electrónica se han creado dispositivos de seguridad nuevos y más eficaces, obtener una mayor exactitud en las mediciones, emplear métodos de control más precisos, así como una supervisión de mejor calidad de las operaciones industriales.

En la mayoría de los casos, estas operaciones depuradas han requerido que la eficiencia del sistema eléctrico de la planta sea más confiable, de mejor regulación y con dispositivos de protección de la mejor calidad.

Las aplicaciones más importantes de los dispositivos electrónicos en la industria son las siguientes:

- Como dispositivos de conmutación (dispositivos de estado sólido).
- Rectificadores de potencia (CA a CD).
- Inversores (CD a CA).
- Variadores de velocidad.
- Reguladores de voltaje.
- Estabilizadores de voltaje.
- Computadoras.
- Control dinámico de energía reactiva.
- Controladores programables.
- Equipos de medida.
- Fuentes de suministro de energía ininterrumpida (UPS's).
- Hornos y calentadores microondas, etc.

Desafortunadamente, el creciente uso de los microprocesadores y la electrónica de potencia, unido a la proliferación de dispositivos ultrasensibles en las instalaciones industriales, han venido afectando a usuarios y comercializadores en cuanto a la calidad de la energía se refiere.

Es así como fallas debidas a descargas atmosféricas, conmutación de equipos electrónicos, eventos de maniobras en bancos de condensadores, caídas de tensión asociadas a fallas remotas, etc. que probablemente no ocasionaban un riesgo en el pasado, ahora pueden ocasionar problema en los equipos de los usuarios por su alta sensibilidad, lo que a su vez representa pérdidas por paros en el proceso.

## **2.3 NORMAS QUE RIGEN EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCION DE UN SISTEMA ELÉCTRICO**

El diseño de una instalación eléctrica debe hacerse dentro de un marco legal, apegados a las normas y códigos aplicables. En México las Normas Técnicas para las Instalaciones Eléctricas (NOM-SE-2005) constituyen el marco legal para el proyecto y construcción de instalaciones.

### **2.3.1 Norma Oficial Mexicana NOM-SE-2005**

La estructura de la Norma Oficial Mexicana (NOM-SE-2005), responde a las necesidades técnicas que requiere la utilización de las instalaciones eléctricas en el ámbito nacional. En esta norma establece los principios fundamentales, los cuales no están sujetos a modificaciones en función de desarrollos tecnológicos.

El objetivo de esta NOM-SE-2005 es establecer las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades, en lo referente a la protección contra:

- Los choques eléctricos.
- Los efectos térmicos.
- Sobrecorrientes.
- Las corrientes de falla.
- Sobretensiones.

El cumplimiento de las disposiciones indicadas en esta norma garantiza el uso de la energía eléctrica en forma segura; asimismo esta norma no intenta ser una guía de diseño, ni un manual de instrucciones para personas no calificadas.

### **2.3.2 Campo de aplicación**

Esta norma cubre a las instalaciones destinadas para la utilización de la energía eléctrica en:

**a)** Propiedades industriales, comerciales, residenciales y de vivienda, institucionales, cualquiera que sea su uso, públicas y privadas, y en cualquiera de los niveles de tensiones eléctricas de operación, incluyendo las utilizadas para el equipo eléctrico conectado por los usuarios. Instalaciones en edificios utilizados por las empresas suministradoras, tales como edificios de oficinas, almacenes, estacionamientos, talleres mecánicos y edificios para fines de recreación.

**b)** Casas móviles, vehículos de recreo, construcciones flotantes, ferias, circos y exposiciones, estacionamientos, talleres de servicio automotor, estaciones de servicio, lugares de reunión, teatros, salas y estudios de cinematografía, hangares de aviación, clínicas y hospitales, construcciones agrícolas, marinas y muelles, entre otros.

**c)** Sistemas de emergencia o reserva propiedad de los usuarios.

**d)** Subestaciones, líneas aéreas de energía eléctrica y de comunicaciones e instalaciones subterráneas.

**e)** Centrales eléctricas para Cogeneración o Autoabastecimiento.

Los circuitos que cubre la NOM-SE-2005 son:

**a)** Circuitos alimentados con una tensión nominal hasta 600 V de corriente alterna ó 1 500 V de corriente continua, y algunas aplicaciones especificadas arriba de 600 V de corriente alterna ó 1 500 V de corriente continua.

Para corriente alterna, la frecuencia tomada en cuenta en esta norma es 60 Hz. Sin embargo no se excluye el uso de otras frecuencias para aplicaciones especiales.

**b)** Circuitos, que no sean los circuitos internos de aparatos, operando a una tensión superior a 600 V y que se derivan de una instalación con una tensión que no exceda de 600 V de C.A, por ejemplo: los circuitos de lámparas a descarga, precipitadores electrostáticos.

**c)** Todas las instalaciones del usuario situadas fuera de edificios.

**d)** Alambrado fijo para telecomunicaciones, señalización, control y similares (excluyendo el alambrado interno de aparatos).

**e)** Las ampliaciones o modificaciones a las instalaciones, así como a las partes de instalaciones existentes afectadas por estas ampliaciones o modificaciones.

Los equipos eléctricos sólo están considerados respecto a su selección y aplicación para la instalación correspondiente.

La NOM-SE-2005 no se aplica en:

**a)** Instalaciones eléctricas en barcos y embarcaciones.

**b)** Instalaciones eléctricas para unidades de transporte público eléctrico, aeronaves o vehículos automotores.

**c)** Instalaciones eléctricas del sistema de transporte público eléctrico en lo relativo a la generación, transformación, transmisión o distribución de energía eléctrica utilizada exclusivamente para la operación del equipo rodante o de señalización y comunicación.

**d)** Instalaciones eléctricas en áreas subterráneas de minas, así como en la maquinaria móvil autopropulsada de minería superficial y el cable de alimentación de dicha maquinaria.

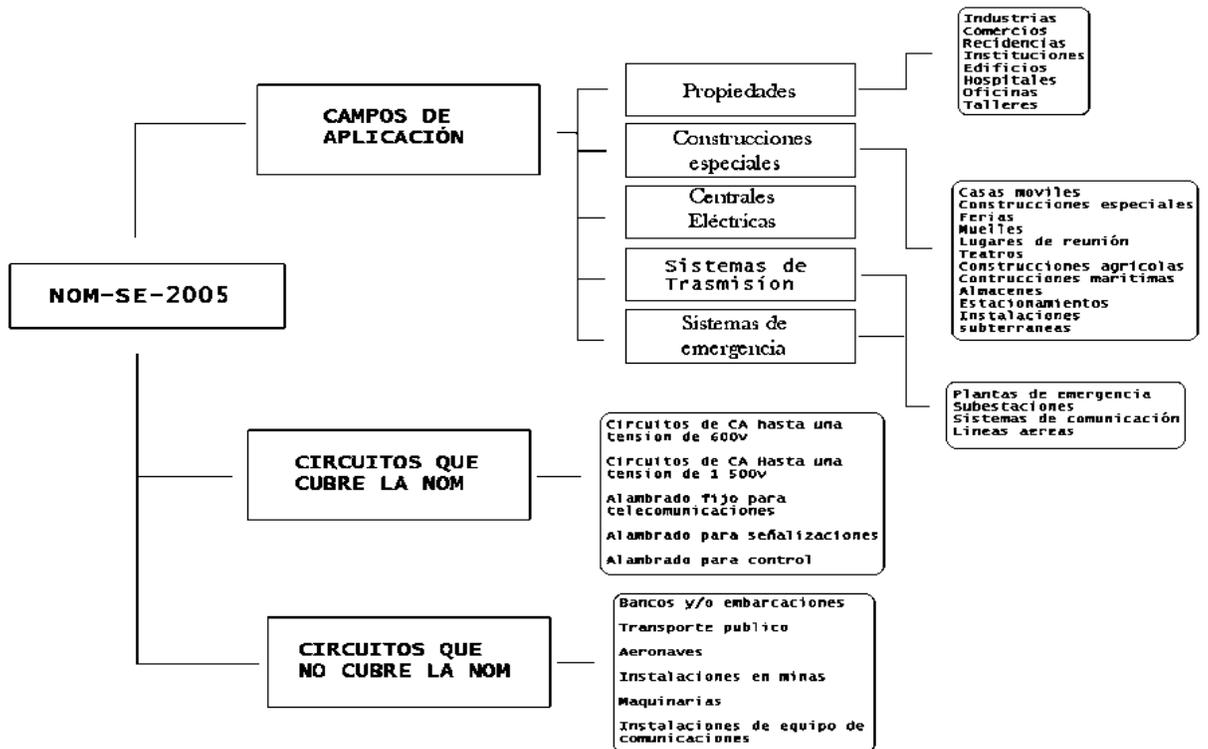
**e)** Instalaciones de equipo de comunicaciones que esté bajo el control exclusivo de empresas de servicio público de comunicaciones donde se localice.

La conformación de la Norma Oficial Mexicana para instalaciones eléctricas (NOM-SE-2005) se muestra en la Tabla 2.1:

**Tabla 2.1** Conformación de la NOM-SE-2005

TITULO 1. Objetivo y campo de aplicación
TITULO 2. Referencias
TITULO 3. Principios fundamentales
TITULO 4. Especificaciones
TITULO 5. Lineamientos para la aplicación de las especificaciones en las instalaciones eléctricas.
TITULO 6. Cumplimiento
TITULO 7. Vigilancia
TITULO 8. Bibliografía
TITULO 9. Concordancia con normas internacionales

En la Figura 2.5 se muestra un esquema general de la Norma Oficial Mexicana SEDE-2005:



**Figura 2.5** Norma Oficial Mexicana.

### **2.3.3 National Electrical Code (NEC)**

Existen otras normas que no son obligatorias pero que son el resultado de experiencia acumulada y que pueden servir de apoyo, como es el código nacional de los Estados Unidos de Norteamérica (*NEC*).

Por 1895, cinco códigos de instalaciones eléctricas habían entrado a los Estados Unidos para regir su diseño y construcción, esto causo una controversia considerable y confusión ya que los fabricantes de productos no sabían en cuál de los cinco códigos aplicar, por lo que se tuvo que desarrollar un solo código nacional.

En 1896 se conjuntó un comité que tomó como base a los cinco códigos actuales para conformar un nuevo código. Este código fue revisado rigurosamente por 1200 individuos en Estados Unidos y Europa para poder ser aprobado y ser impreso el primer código eléctrico americano regularizado, que de inmediato fue reconocido por las grandes industrias. El código eléctrico Nacional se ha vuelto ampliamente adoptado en los cincuenta estados de los Estados Unidos y usado en muchos países. El código cambia continuamente para estar vigente con los avances de la tecnología.

El propósito de este código es la seguridad de las personas y propiedades de riesgos que conllevan el uso de la electricidad. Una de las intenciones de este código es servir como un manual a las personas inexpertas. Los principios de protección para la seguridad abarca la protección contra choques eléctricos, protección contra choques térmicos, contra sobre corrientes, sobre voltajes y falta de corriente.

El código incluye las especificaciones de conductores, equipo eléctrico, señalización, equipo de comunicación, fibras y cables ópticos para instalaciones realizadas en construcciones públicas y privadas, edificios, industrias, patios, parques, estacionamientos, almacenes, y subestaciones; todas estas conectados al suministro de electricidad. El *NEC* no cubre las instalaciones en barcos, ferrocarriles, aviones, vehículos automotores, casas rodantes y minas. Para la distribución de la energía eléctrica, el estado tiene la jurisdicción para conceder el permiso para la instalación.

En general el *NEC* está conformado por los capítulos indicados en la Tabla 2.2:

**Tabla 2.2** Contenido del *NEC*

Capítulo 1—Generalidades
Capítulo 2—Alambrando y Protección
Capítulo 3—Alambrando, Métodos y Materiales
Capítulo 4—El Equipo para el Uso General
Capítulo 5—Las Ocupaciones Especiales
Capítulo 6—El Equipo Especial
Capítulo 7—Las Condiciones Especiales
Capítulo 8—Los Sistemas de Comunicaciones
Capítulo 9—Las tablas

## **2.4 PROGRAMAS COMERCIALES PARA EL CÁLCULO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES**

A continuación se mencionaran algunos programas comerciales, los cuales se tomaran como punto de comparación para el simulador que se desarrollará.

### **2.4.1 ElectroMil 1.0**

Para cualquier proyecto industrial, comercial o residencial, es necesario el diseño de las instalaciones eléctricas, calculando las dimensiones de la tubería, los calibres de los conductores para no sobrepasar determinada caída de voltaje, también los niveles de iluminación requeridos, etc. Pero no sólo eso, sino que también te requerirán de la memoria de cálculo para avalar los resultados obtenidos.

ElectroMIL es un programa fabricado por electronics workbench y diseñado para ejecutar los cálculos más comunes para contratistas e ingenieros eléctricos. Es útil para cualquier persona dedicada a la industria eléctrica: personal de mantenimiento eléctrico,

diseñadores de sistemas de iluminación, arquitectos, contratistas, ingenieros, etc. Todas las funciones en ElectroMIL se basan en el Código Nacional Eléctrico (*NEC*, 1996) de *USA*.

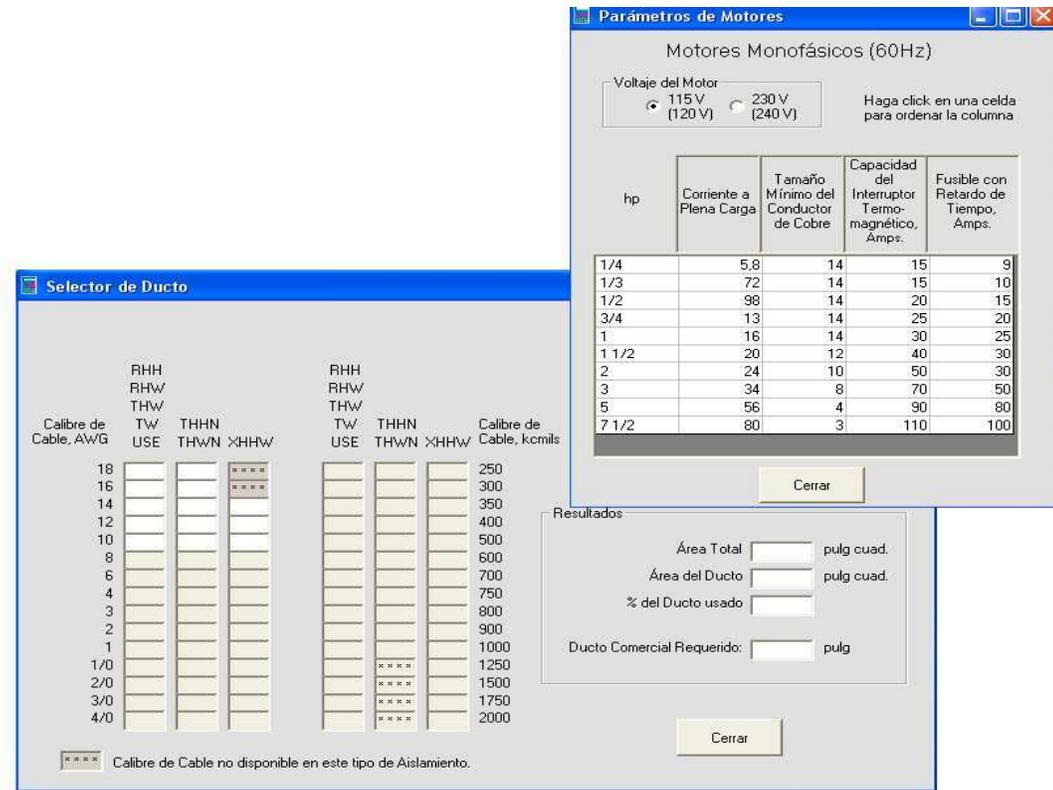
Esta versión puede realizar las siguientes funciones:

- a) Corrección del Factor de Potencia
- b) Cálculos de caídas de voltaje
- c) Cálculos de dispositivos, cajas de empalme y de derivación
- d) Selección de tamaño de tubería para cualquier tipo y tamaño de cables
- e) Determinación del costo de operar las cargas a diferentes precios de kwh
- f) Cálculos de iluminación
- g) Protección de Motores
- h) Cálculos de cables y tuberías basadas en una pérdida de voltaje máxima admisible
- i) Tablas de referencia rápida.

En este software se encontrarán varios documentos extraídos del Código Eléctrico Nacional de USA (*NEC*), que son aplicables a los diferentes módulos de ElectroMIL:

- Límites de Temperatura de Conductores/Terminaciones
- Intensidades Máximas de Conductores - Tabla NEC 310-16
- Requisitos Mínimos de Enterramiento
- Amperios / KVA de Transformador
- Tablas de KW / Amperios
- Conductores del electrodo de tierra de instalaciones de c.a.
- Sección mínima de los conductores de tierra de equipos
- Tamaños estandarizados de Fusibles e Interruptores Automáticos
- Tamaños estandarizados de cajas de empalmes y de derivación
- Tabla de Capacidades de Cajas Metálicas

En la Figura 2.6 se muestra la plataforma del software ELETROMIL 1.0:



**Figura 2.6** Software Electromil 1.0

## 2.4.2 Nermal 1.2

Nermal nos ofrece la posibilidad de calcular diferentes factores eléctricos relacionados con la intensidad de conductores relacionados con la cuarta edición del REBT (reglamento electrotécnico de baja tensión). Algunos de los cálculos que puede realizar son la intensidad máxima admisible en un conductor, potencia de una línea, longitud máxima, caída de tensión, etc.

Para el cálculo de la intensidad máxima en un cable tiene en cuenta todos los aspectos que contempla el REBT, además de fijar por defecto los valores con que más se trabajen. En la Figura 2.7 se muestra el ambiente gráfico del software Nermal 1.2:

Calculo de la Intensidad máxima de un cable.

## NERNAL V1.2

**Sección:** 50 mm<sup>2</sup>

**Aislante:** PVC

1000 V  750 V  Desnudo

**Material:** Cobre

Al Aire  Enterrado

**Temperatura Ambiente o del Terreno:**

10 °C | 15 °C | 20 °C | 25 °C | 30 °C | 35 °C | 40 °C | 45 °C | 50 °C

BAJO TUBO, con N° de cables:  (1 a 3)  (4 a 7)  (Mas de 7)

Instalación en Zona Peligrosa (Garajes, Tintorerías, Riesgos de Explosión, etc)

Expuestos directamente al sol

Canalización Movable

**Tipo:**

1 Unipolar

2 Unipolares

3 Unipolares

1 Bipolar

1 Tri/Tetrapolar

Trenzados en Haz

Concéntricos

**Agrupaciones de cables:**

**N° de cables dispuestos...**

Horizontalmente: 1

Verticalmente: 1

**Tipo de agrupación:**

Sobre Bandeja Perforada

Separados en Bandeja Continua

Separados

En contacto mutuo

**Resistividad Térmica del Terreno (°C cm/W):**

85 | 100 | 120 | 140 | 165 | 200 | 230 | 280

Resultados...

**Resultados para una sección de 50 mm<sup>2</sup>:**

**Intensidad max:** 145 A

**Datos sobre la línea calculada:**

220V (II)  380V (III)

Factor de Potencia: 0.8

Caida de tensión (%): 3 (Supone una caída de tensión de 6.6 V)

**Potencia:** 25.52 Kw

**Longitud max:** 79.66 mts

Figura 2.7 Software Nermal 1.2

**Para el cálculo de un conductor se siguen los siguientes pasos:**

- Se indica la sección de conductor (en mm<sup>2</sup>) para calcular al máximo amperaje permitido.
- Se especifica el material aislante (PVC, goma, goma butilica, etileno, propileno, polietileno reticulado, papel impregnado, polietileno clorosulfona), seguido de la tensión máxima de dicho aislante.
- Se selecciona el material del conductor (cobre o aluminio).
- Se selecciona el tipo de instalación (convencionales al aire libre, enterradas bajo suelo).

- Se indica la temperatura a la cual estará expuesta la instalación, en caso de ser una instalación convencional se deja la temperatura por defecto.
- Se introducirá la construcción del cable, si son unipolares (1, 2 o 3 dependiendo si la instalación es monofásica o trifásica), o si son del tipo manguera (bipolares o tetrapolares).
- Se marcará la resistividad del conductor, si esta no se conoce se dejará el valor por defecto.
- También se consideran otros factores como si la instalación está expuesta al sol, está en una zona peligrosa o si su canalización es móvil.

### **2.4.3 Cv Especialista 2.02**

El CV-Especialista ayuda a efectuar cálculos de Caídas de Voltaje en Instalaciones Internas, considerando para ello el tipo de ducto utilizado, distancia, corriente, factor de potencia, tipo de conductor (cobre o aluminio), sistemas trifásico o monofásico. También se puede saber la distancia de un tramo de conductor si la caída de voltaje y la corriente que circula son conocidas. Los resultados de este software se apega a lo indicado por el *National Electrical Code (NEC)*.

Los pasos a seguir para el cálculo en este software son los siguientes:

- Se indica si se quiere calcular caída de voltaje en el conductor o la distancia de este.
- Posteriormente se indica el material del conductor (aluminio o cobre).
- Se selecciona si el sistema es monofásico o trifásico.
- Se indica el tipo de ducto (PVC, aluminio, acero), y el calibre del conductor.

En la Figura 2.8 se puede ver la estructura del software Cv especialista 2.02:

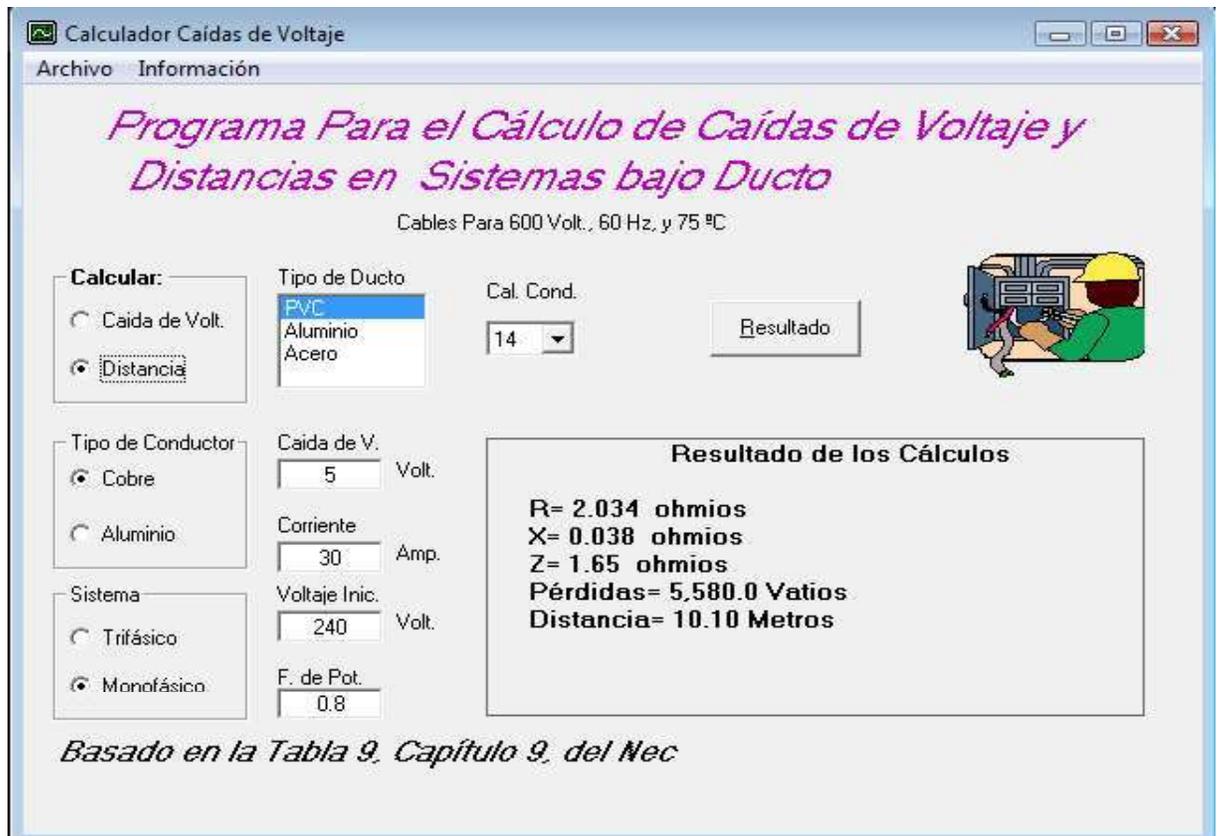


Figura 2.8 Software Cv especialista 2.02

En la Tabla 2.3 se muestra una comparación de los paquetes presentados anteriormente con el simulador que se va a desarrollar:



## CAPITULO 3

### PROYECTO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO

En este capítulo se muestra el desarrollo desde el punto de vista eléctrico de un proyecto de un sistema eléctrico industrial apegado a la norma oficial Mexicana de las instalaciones eléctricas (NOM-SE-2005)

#### 3.1 PROYECTO ELÉCTRICO

La ejecución de una instalación eléctrica requiere necesariamente la confección de un proyecto, sobre la base de los requisitos particulares en materia de niveles de iluminación, cantidad y ubicación de los consumos, así como condiciones adecuadas de seguridad y funcionamiento a largo de su vida útil, el que debe constar de planos y memoria técnica, firmado por un profesional con incumbencias y/o competencias específicas.

La elaboración de un proyecto de una instalación eléctrica industrial debe estar precedida por el conocimiento de datos relacionados con las condiciones de suministro y de las características de la industria en general. Normalmente el proyectista recibe del interesado un conjunto de planos de la industria, conteniendo como mínimo los siguientes detalles:

**a) Planos de Ubicación:** Que tiene la finalidad de situar la obra dentro del contexto urbano.

**b) Planos arquitectónicos del área:** Que contiene toda el área de Construcción e indica con detalle todos los ambientes de producción, oficinas, depósitos, etc.

**c) Planos con la disposición física de las máquinas:** Indica una proyección aproximada de las máquinas debidamente ubicadas con la indicación de los motores y sus respectivos tableros de control.

**d) Planos de Detalles:** Que contienen todas las particularidades del proyecto de arquitectura que se vayan a construir como son:

- Vistas y cortes del galpón industrial.
- Detalles sobre la existencia de puentes girantes en los recintos de producción.
- Detalle de columnas y vigas de concreto y otras particularidades de construcción.
- Detalle de montaje de máquinas de grandes dimensiones.

Durante la fase de proyecto es también importante conocer los planes de expansión de la empresa, los detalles del aumento de carga y si es posible conocer el área donde se instalarán. En cualquier proyecto eléctrico de una instalación industrial debe considerar los siguientes aspectos:

**a) Flexibilidad:** Es la capacidad que tiene la instalación de admitir cambios en la ubicación de máquinas y equipos, sin comprometer seriamente las instalaciones existentes.

**b) Accesibilidad:** Es la facilidad de acceso a todas las máquinas y equipos de maniobra.

**c) Confiabilidad:** Representa el desempeño del sistema con relación a las interrupciones, también asegura la protección e integridad de los equipos y de aquellos que los operan.

Además de los planos anteriormente mencionados, se debe tener conocimiento de los siguientes datos:

### **3.1.1 Condiciones de suministro**

La concesionaria debe indicar al interesado la información necesaria, como ser:

- Garantía de suministro de energía en condiciones satisfactorias.
- Variación de tensión.
- Tipo de Sistema.
- Capacidad de corto circuito actual y futuro.
- Impedancia reducida en el punto de suministro.

### **3.1.2 Características de cargas**

Esta información se puede obtener del responsable técnico del proyecto industrial, o por medio del manual de especificación de los equipos. Los datos principales son:

#### **a) Motores**

- Potencia
- Tensión
- Corriente
- Frecuencia
- Número de polos y fases
- Conexiones posibles
- Régimen de funcionamiento.

#### **b) Hornos a Arco**

- Potencia del horno
- Potencia de Corto Circuito del horno
- Tensión
- Frecuencia
- Potencia del transformador del horno
- Factor de severidad

**c) Otras Cargas** Existen otras cargas singulares como máquinas accionadas por sistemas computarizados en los cuales la variación de tensión debe ser mínima, razón por la cual requieren alimentadores exclusivos. Este tipo de cargas y otros especiales merecen un estudio particular por parte del proyectista.

### **3.1.3 Memoria descriptiva**

La Memoria Descriptiva tiene como objeto establecer todos los aspectos técnicos y comerciales que deben respetar las empresas instaladoras para la ejecución de las obras;

debe contener la información necesaria para el entendimiento del proyecto. Entre las cuales están:

- Finalidad del proyecto.
- Carga prevista y demanda.
- Tipo de subestación.
- Protección y comando de todos los aparatos utilizados.
- Características de los equipos de protección y comando, así como los transformadores, cables, tableros y otros.
- Memoria de todo el cálculo.
- Relación completa del material.

### **3.1.4 Memoria de cálculo**

El cálculo eléctrico permitirá al proyectista determinar los valores de capacidad de los diversos componentes del sistema con el fin de que sean cuantificados y especificados. En esta memoria se hace referencia a los cálculos que nos permitirán mantener al sistema con un funcionamiento óptimo así como para protegerlo de condiciones extremas.

### **3.1.5 Medio ambiente**

Todo proyecto de instalación eléctrica industrial debe tener en consideración las particularidades de las influencias externas, tales como temperatura, altitud, rayos solares, etc.

Todo material eléctrico, especialmente los conductores, sufren grandes alteraciones en su dimensionamiento en función a la temperatura a que son sometidos. La temperatura ambiente que se considera para un determinado componente es la temperatura en la cual este va a ser instalado, resultante de la influencia de todos los demás componentes ubicados en el mismo lugar de operación sin tomar en cuenta la contribución térmica del componente considerado.

Debido al enrarecimiento del aire en altitudes superiores a 1.000 m, algunos componentes eléctricos, tales como motores y transformadores, requieren consideraciones

especiales en su dimensionamiento. El polvo ambiental perjudica el aislamiento de los equipos principalmente cuando está asociado a la humedad y a la seguridad de las personas cuando hay posibilidad de contacto accidental.

## **3.2 ANÁLISIS DE CORTO CIRCUITO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES**

El objetivo del cálculo de corto circuito es proporcionar información sobre corrientes y voltajes en un sistema eléctrico durante condiciones de falla.

Esta información se requiere para determinar las características de capacidad interruptiva y momentánea de los interruptores y otros dispositivos de protección localizados en el sistema, calcular los esfuerzos electrodinámicos en barras o en buses de subestaciones y tableros, calcular redes de tierra, seleccionar conductores alimentadores, así como diseñar un adecuado sistema de relevadores de protección los cuales deberán reconocer la existencia de una falla e iniciar la operación de los dispositivos de protección asegurando así la mínima interrupción en el servicio y evitando daños a los equipos.

### **3.2.1 Naturaleza de las corrientes de corto circuito**

Una corriente de corto circuito es aquella que circula en un circuito eléctrico cuando existe el contacto entre dos o más conductores al perderse el aislamiento entre ellos o entre ellos y tierra. La magnitud de la corriente de corto circuito es mucho mayor que la corriente nominal o de carga que circula por el circuito. En condiciones normales de operación, la carga consume una corriente proporcional al voltaje aplicado y a la impedancia de la propia carga. Si se presenta un corto circuito en las terminales de la carga, el voltaje queda aplicado únicamente a la baja impedancia de los conductores de alimentación y a la impedancia de la fuente hasta el punto de corto circuito, ya no oponiéndose la impedancia normal de la carga y generándose una corriente mucho mayor.

### **3.2.2 Fuentes de corriente de corto circuito**

Cuando se determinan las magnitudes de las corrientes de corto circuito, es extremadamente importante que se consideren todas las fuentes de corriente de corto circuito y que las reactancias características de estas fuentes sean conocidas. Existen cuatro fuentes básicas de corriente:

- Generadores
- Motores y condensadores síncronos
- Motores de inducción
- Sistema de la compañía suministradora

#### **Generadores**

Los generadores son movidos por turbinas, motores diesel, u otro tipo de primomotores. Cuando ocurre un corto circuito en el circuito al cual está conectado el generador, este continúa produciendo voltaje debido a que la excitación del campo se mantiene y el primomotor sigue moviéndolo a la velocidad normal. El voltaje generado produce una corriente de corto circuito de gran magnitud, la cual fluye del generador al punto de falla.

Este flujo de corriente se limita únicamente por la impedancia del generador y las impedancias del circuito entre el generador y el punto donde ocurre la falla. Si el corto circuito ocurre en las terminales de generador, la corriente se queda limitada solamente por la impedancia de la máquina.

#### **Motores síncronos**

Los motores síncronos están contruidos sustancialmente igual que los generadores; tienen un campo excitado por corriente directa y un devanado en el estator por el cual fluye la corriente alterna. Normalmente el motor toma la potencia de la línea y convierte la energía eléctrica en energía mecánica.

Durante un corto circuito en el sistema, el motor síncrono actúa como un generador y entrega corriente de corto circuito. Tan pronto el corto circuito se establece, el voltaje en

el sistema se reduce a un valor mucho más bajo. Consecuentemente el motor deja de entregar energía a la carga mecánica y empieza a detenerse.

Sin embargo, la inercia de la carga y el rotor impiden al motor que se detenga; en otras palabras, la energía rotatoria de la carga y el rotor mueven al motor síncrono como un primomotor mueve a un generador.

La magnitud de la corriente de corto circuito depende de la potencia, el voltaje nominal y reactancia del motor síncrono y de la reactancia del sistema hasta el punto de falla.

### **Motores de inducción**

La inercia de la carga y el rotor de un motor de inducción tienen exactamente el mismo efecto sobre el motor de inducción como en el motor síncrono; siguen moviendo al motor después de que ocurre un corto circuito en el sistema. Solo existe una diferencia: el motor de inducción no tiene un campo excitado por corriente directa, pero existe un flujo en el motor durante la operación normal. Este flujo actúa en forma similar al flujo producido por el campo de corriente directa en el motor síncrono.

El campo del motor de inducción se produce por inducción desde el estator en lugar del devanado de corriente directa. El flujo del rotor permanece normal mientras se aplica voltaje al estator desde una fuente externa, sin embargo, si la fuente externa de voltaje se elimina súbitamente, esto es, cuando ocurre el corto circuito en el sistema, el flujo del rotor no puede cambiar instantáneamente.

Debido a que el flujo del rotor no puede decaer instantáneamente y la inercia sigue moviendo al motor, se genera un voltaje en el devanado del estator causando una corriente de corto circuito que fluye desde el punto de falla hasta que el flujo del rotor decae a cero.

La magnitud de la corriente de corto circuito producida por el motor de inducción depende de su potencia, voltaje nominal, reactancia del motor y la reactancia del sistema hasta el punto de falla. Consecuentemente, el valor inicial simétrico de la corriente de corto circuito es aproximadamente igual a la corriente de arranque a tensión plena del motor.

## **Sistema de la compañía suministradora**

Los modernos sistemas eléctricos de las compañías suministradoras, representan una grande y compleja red de plantas generadoras interconectadas. En un sistema típico, los generadores no se ven afectados por las altas corrientes de corto circuito que se producen en una planta industrial, únicamente aparece en ellos un incremento en su corriente de carga que tiende a permanecer constante.

Las líneas de transmisión y de distribución, así como de los transformadores, introducen impedancias entre las plantas generadoras y los consumidores industriales; de no ser así, las compañías suministradoras serian una fuente infinita de corriente de falla. La representación de la compañía suministradora para el estudio de corto circuito, será una impedancia equivalente referida al punto de conexión.

### **3.2.3 Métodos de solución**

Existen cuatro métodos para realizar el análisis de corto circuito:

- Método de valor por unidad
- Método óhmico
- Método de los MVA's
- Método de la Zbus

## **3.3 CONDUCTORES ELÉCTRICOS**

En cualquier instalación eléctrica, los conductores son los elementos que conducen la corriente eléctrica de las fuentes a las cargas o que interconectan los elementos de control, normalmente estos conductores se encuentran instalados dentro de canalizaciones eléctricas de distinta naturaleza y cuya aplicación depende del tipo de instalación.

En general la palabra conductor se usa con un sentido distinto al del alambre, ya que por lo general un alambre es una sección circular, mientras que un conductor puede tener

otras formas (por ejemplo barras rectangulares o circulares), sin embargo es común que a los alambres se les designe como conductores.

La mayor parte de los conductores usados en las instalaciones eléctricas son de cobre (Cu) o aluminio (Al) debido a su buena conductividad y que comercialmente no tienen un costo alto ya que hay otros que tienen un costo elevado que hacen antieconómica su utilización en instalaciones eléctricas, aun cuando tienen mejor conductividad.

Desde el punto de vista de las normas, los conductores se han identificado por un número a lo que comúnmente se conoce como el calibre y que normalmente se sigue el sistema americano de designación AWG (*American Wire Gage*) siendo el más grueso el número 4/0, siguiendo en orden descendente del área de conductor los números: 3/0, 2/0, 1/0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 que es el más delgado usado en instalaciones eléctricas. Para conductores con un área mayor a 4/0, se hace una designación que está en función de su área en pulgadas, para lo cual se emplea una unidad denominada *CircularMil* siendo así como un conductor de 250 corresponderá a aquel cuya sección sea de 250, 000 CM.

Se denomina CircularMil a la sección de un círculo que tiene un diámetro de un milésimo de pulgada (0.001plg.).

Los conductores empleados en las instalaciones eléctricas están aislados, antiguamente los conductores eléctricos se aislaban con hule, actualmente se fabrican con aislantes de tipo termoplástico con distintas denominaciones comerciales, según el tipo de fabricante, siendo los más conocidos por ser a prueba de agua entre otras propiedades: tipo TW, Vinanel 900, Vinanel nylon, Vulcanel EP, Vulcanel XLP, THWN, RUW, TWD, THW, PILC, V, RHH.

Cada tipo de conductor tiene propiedades específicas que los diferencian de otros, pero en general en la selección de un conductor deben considerarse los agentes que los afectan durante su operación y que se pueden agrupar como:

- Agentes mecánicos.
- Agentes químicos.
- Agentes eléctricos.

### *Agentes mecánicos*

La mayoría de los ataques mecánicos que sufre un conductor se debe a agentes externos como son el desempaque, manejo e instalación que pueden afectar las características del conductor dañado y que producen fallas de operación, por lo que es necesario prevenir el deterioro por agentes externos usando las técnicas adecuadas de manejo de materiales e inserción de conductores en canalizaciones.

Los principales agentes que pueden afectar mecánicamente a los conductores se pueden dividir en cuatro clases:

- a) Presión mecánica.
- b) Abrasión.
- c) Elongación.
- d) Dobleza a 180°.

**Presión mecánica:** La presión mecánica se puede presentar en el manejo de los conductores por el paso o colocación de objetos pesados sobre los conductores, su efecto puede ser una deformación permanente del aislamiento, disminuyendo el espesor del mismo y apareciendo fisuras que pueden provocar fallas eléctricas futuras.

**Abrasión:** La abrasión es un fenómeno que se presenta normalmente al introducir los conductores a las canalizaciones, cuando estas están mal preparadas y contienen rebabas o bordes punzocortantes.

**Elongación:** El reglamento de obras e instalaciones eléctricas marca que no debe haber más de dos curvas de 90° en una trayectoria unitaria de tubería, cuando se tiene un número mayor de curvas se puede presentar un fenómeno de elongación o también cuando se trata

de introducir más conductores en el tubo conduit de los permitidos por el reglamento (deben ocupar el %40 de la sección disponible debajo libre a la sección restante).

Tratándose de conductores de cobre debe tenerse cuidado que la tensión no exceda a  $7K_G / MM^2$ , ya que se corre el riesgo de alargar el propio metal, creándose un problema de aumento de resistencia eléctrica por disminución en la sección del conductor, por otra parte la falta de adherencia del aislamiento provocada por el deslizamiento provoca puntos de falla latente.

Dobles a 180°: Este problema se presenta principalmente por mal manejo de material, de tal forma que las moléculas del aislamiento que se encuentran en la parte exterior están sometidas a la tensión y las que se encuentran en la parte interior a la compresión, este fenómeno se conoce en el argot técnico como la formación de “cocas”.

### ***Agentes químicos***

Un conductor se ve sujeto a ataques por agentes químicos que pueden ser diversos y que dependen de los contaminantes que se encuentran en el lugar de instalación. Estos agentes químicos contaminantes se pueden identificar en cuatro tipos generales que son:

- Agua o humedad
- Hidrocarburos
- Ácidos
- Alcalis

Por lo general no es posible eliminar en su totalidad todos los contaminantes en una instalación eléctrica, lo que hace necesario el uso de conductores eléctricos que resistan los contaminantes en cada instalación eléctrica.

Las fallas por agentes químicos en los conductores se manifiestan como una disminución en el espesor del aislamiento, como grietas con trazos de sulfatación en el aislamiento, oxidación en el aislamiento, caso típico que se manifiesta como un desprendimiento en forma de escamas.

## *Agentes eléctricos*

Desde el punto de vista eléctrico, la característica principal de los conductores de baja tensión se mide por la rigidez dieléctrica del aislamiento, que es la que determina las condiciones de operación manteniendo la diferencia de potencial requerida dentro de los límites de seguridad, soportar sobrecargas transitorias e impulsos de corriente provocados por corto circuito.

### **3.3.1 Calibre de conductores**

Los conductores usados en instalaciones eléctricas deben cumplir con ciertos requisitos para su aplicación como son:

1) Límite de tensión de aplicación, en el caso de las instalaciones eléctricas residenciales es de 1000v.

2) Capacidad de conducción de corriente (ampacidad) que representa la máxima corriente que puede conducir un conductor para un calibre dado, está afectada principalmente por los siguientes factores:

- Temperatura
- Capacidad de disipación del calor producido por las pérdidas en función del medio en que se encuentre el conductor, es decir, aire o en el tubo conduit.

3) Máxima caída de voltaje permisible de acuerdo con el calibre del conductor y la corriente que conducirá, se debe respetar la máxima caída de voltaje permisible recomendada por el reglamento que es del 3% del punto de alimentación al punto más distante de la instalación.

### **3.3.2 Daños que generan el mal dimensionamiento y mal uso de los conductores en una instalación eléctrica**

- Cortes de suministro.
- Riesgos de incendios.

- Pérdidas de energía.
- Caídas de tensión
- Sobre calentamiento de las líneas
- Cortos circuitos

### **3.4 CANALIZACIONES ELÉCTRICAS**

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

Los medios de canalización más comunes en las instalaciones eléctricas son:

- Tubos conduit.
- Ductos.
- Charolas.

#### **3.4.1 Tubos conduit**

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

Los tubos metálicos pueden ser de aluminio, acero o aleaciones, los tubos de acero a su vez se fabrican en los tipos pesado, semipesado y ligero, distinguiéndose uno de otro por el espesor de la pared. Y basándose en lo anterior los tubos conduit se clasifican en:

- Tubos conduit de acero pesado (pared gruesa).
- Tubos conduit metálico (pared delgada).
- Tubos conduit metálico flexible.
- Tubos conduit de plástico rígido (pvc).

### **3.4.2 Ductos**

Los ductos son otro medio de canalización de conductores eléctricos que se usan solo en instalaciones eléctricas visibles, debido a que no pueden montar embutidos en pared o dentro de lazos de concreto. Se fabrican dentro de canales de lámina de acero de sección cuadrada o rectangular con tapas atornilladas y su aplicación se encuentra en instalaciones industriales y laboratorios.

Los ductos ofrecen ventajas en comparación con los tubos conduit debido a que ofrecen mayor espacio para alojar conductores y son más fáciles de alambrear esto en sistemas menores de distribución en donde por un mismo ducto se pueden tener circuitos múltiples, ofreciendo además la ventaja de ser fácil de alambrear, teniéndose un mejor aprovechamiento de la capacidad conductiva de los conductores al tener mejor disipación de calor. Tienen la desventaja de que requieren de un mayor mantenimiento.

### **3.4.3 Charolas**

En el uso de charolas se tienen aplicaciones parecidas a las de los ductos con algunas limitantes propias de los lugares en el que hace la instalación.

En cuanto a la utilización de charolas se dan las siguientes recomendaciones:

- Procurar alinear los conductores de manera que guarden siempre la misma posición relativa en todo trayecto de la charola, especialmente los de grueso calibre.
- En el caso de muchos conductores delgados es conveniente hacer amarres a intervalos de 1.5 a 2.0 m. aproximadamente, procurando colocar etiquetas de identificación cuando se traten de conductores de varios circuitos, en el caso de conductores gruesos los amarres se pueden hacer cada 2.0 o 3.0 m.
- En la fijación de conductores que vayan a través de charolas por trayectorias verticales muy largas es recomendable que los amarres se hagan con abrazadores especiales en lugar de usar hilo de cáñamo.

### **3.4.4 Número de conductores en una canalización**

Normalmente los conductores en las instalaciones eléctricas se encuentran alojados ya sea en tubos conduit o en otros tipos de canalizaciones. Como ya se ha mencionado, los conductores están limitados en su capacidad de conducción de corriente por el calentamiento, debido a las limitaciones que se tienen en disipación de calor y a que el aislamiento mismo presenta limitaciones de tipo térmico.

Debido a estas restricciones térmicas, el número de conductores dentro de un tubo conduit se limita tal que permita un arreglo físico de conductores de acuerdo a la sección de tubo conduit o de la canalización, facilitando su alojamiento y manipulación durante la instalación.

Este factor de relleno tienen los siguientes valores establecidos para instalaciones en tubos conduit:

53% para un conductor

31% para dos conductores

43% para tres conductores

40% para cuatro conductores

### **3.5 PROTECCIONES**

El objetivo de la protección eléctrica es evitar o limitar las consecuencias destructivas o peligrosas de las sobrecorrientes debido a sobrecargas, cortocircuitos, y fallas de aislamiento, y separar el circuito defectuoso del resto de la instalación.

Se hace una distinción entre la protección de los elementos que constituyen la instalación eléctrica: cables, canalizaciones, dispositivos etc.

El elemento fusible consiste en un conductor de sección muy pequeña, que debido a su alta resistencia, sufre un calentamiento superior al conductor del circuito protegido

debido al pasaje de la corriente. Para una relación determinada entre la sección del elemento fusible y la del conductor protegido, ocurrirá la fusión del elemento fusible cuando el conductor alcance su temperatura máxima admisible.

El elemento fusible es un hilo o una lámina generalmente de cobre, plata o estaño, colocada en el interior del cuerpo del dispositivo generalmente de porcelana u otro material aislante herméticamente cerrado. La mayoría de los fusibles contienen en su interior, envolviendo el elemento fusible, material granulado extintor del arco (en general es arena de cuarzo).

Esquema de composición de un fusible:

1. Elemento fusible.
2. Cuerpo generalmente de porcelana.
3. Indicador.
4. Medio extintor generalmente arena de cuarzo.

Algunos fusibles poseen un elemento indicador compuesto generalmente por un hilo de acero ligado en paralelo con el elemento fusible, el cual libera un resorte luego de su operación, actuando este sobre un botón indicador en el frente del fusible.

### **3.5.1 Principio de la protección contra sobrecorrientes**

Un dispositivo de protección debe ser instalado en cada punto donde exista una reducción de la corriente admisible del circuito  $Z I$  (una reducción de la sección del cable, una reducción debida al tipo de instalación o al tipo de cable, etc.), en particular en el origen de cada circuito.

- El dispositivo de protección debe permitir el flujo de la corriente de diseño del circuito protegido  $B I$  en forma indefinida.
- El dispositivo debe interrumpir las sobrecorrientes en un tiempo menor al dado por la característica térmica del cable.

- El dispositivo debe tener una Capacidad de Interrupción o Poder de Interrupción corriente de cortocircuito presumida en el punto donde se instale el mismo.
- El uso de dispositivos de protección con una Capacidad de Interrupción menor a la corriente de cortocircuito presumida en el punto de instalación es permitido cuando se utiliza el concepto de *Filiación*.

### 3.5.2 Método práctico de selección de dispositivos de protección contra sobrecorrientes según NOM-SE-2005

#### a) Protección contra sobrecargas

Se deben verificar las dos condiciones siguientes:

$$1) I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$2) I_2 \leq 1.45 \leq I_Z$$

Donde,

$I_B$  Corriente de diseño del circuito.

$I_N$  Corriente nominal del dispositivo de protección.

$I_Z$  Corriente admisible del circuito.

$I_2$  Corriente convencional de actuación del dispositivo, en el caso de un fusible será la corriente convencional de fusión  $f$ .

### 3.5.3 Protección contra sobrecargas con interruptores automáticos

En el caso de los interruptores automáticos que cumplen con la NOM se cumple:

Para los interruptores de uso industrial

$$I = 1.3 \times I_n^2 \quad (3.28)$$

Para los interruptores de uso doméstico

$$I = 1.45 \times I^2 \quad (3.29)$$

Por lo que la única condición que se debe verificar en este caso es:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$K$  es el factor que queda depende del material del conductor y de su aislamiento, en la Tabla 3.1 se dan los valores para los cables usuales.

**Tabla 3.1** Valores para cables usuales.

MATERIAL DEL CONDUCTOR	$K \left( \frac{A_s^2}{mm^2} \right)$	
	PVC	XLPE
COBRE	115	143
ALUMINIO	76	94

En cualquier instalación eléctrica, independientemente del tipo o complejidad, es importante, mantener un contacto desde el nivel de proyecto hasta la construcción, con el arquitecto de la obra e ingenieros civiles, mecánicos, etc., para lograr ubicar en el mismo todas las necesidades de servicio eléctrico.

# CAPITULO 4

## DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SIMULADOR

En este capítulo se diseña e implementa un simulador digital en lenguaje C capaz de obtener los parámetros necesarios para implementar una instalación eléctrica industrial, basado en la metodología descrita en el capítulo anterior.

### 4.1 DISEÑO DEL SIMULADOR

Para el diseño del simulador se usará “C” como lenguaje de programación. C es un lenguaje estructurado, y como ensamblador, un nivel medio. Esto permite una mayor flexibilidad y potencia, a cambio de menor abstracción. No es necesario que los tipos sean exactamente iguales para poder hacer conversiones, basta con que sean parecidos. No lleva a cabo comprobación de errores en tiempo de ejecución, por ejemplo no se comprueba que no se sobrepasen los límites de los arreglos. El programador es el único responsable de llevar a cabo esas comprobaciones.

Tiene un reducido número de palabras clave, unas 32. C dispone de una biblioteca estándar que contiene numerosas funciones y que siempre está disponible, además de las extensiones que proporcione cada compilador o entorno de desarrollo. En resumen, es un lenguaje muy flexible, muy potente, muy popular, pero que no protege al programador de sus errores. Como ya se ha mencionado anteriormente, el simulador estará englobado para determinar los parámetros para el diseño de una instalación eléctrica industrial, tomando como base el número y las características de los motores que se encuentran en la instalación. Los cálculos que realizara el simulador son:

- Determinación del calibre de los conductores del motor y de los alimentadores.
- Determinación de protecciones de los motores y alimentadores.
- Determinación de la caída de tensión en los conductores.
- Determinación de la capacidad del transformador del sistema.

Es preciso señalar que el simulador basa sus cálculos en motores de inducción (jaula de ardilla), que son de los motores más ampliamente usados dentro de las industrias gracias a la potencia entregada por estos.

Todos los cálculos realizados por el simulador están basados en las normas y códigos estipulados por la norma oficial mexicana (NOM-SE-2005), con el fin de que los parámetros entregados por el software se apeguen con el marco legal exigido en México y puedan implementarse en el país.

## 4.2 ESTRUCTURA DEL SIMULADOR PROPUESTO

La estructura del simulador para determinar los parámetros de un sistema eléctrico industrial consta de los siguientes módulos:

- Lectura del archivo del simulador.
- Cálculo de calibres de conductor del sistema.
- Cálculo de protecciones del sistema.
- Cálculo de caída de tensión de los conductores.
- Cálculo del transformador del sistema.
- Generación de resultados.

En la Figura 4.1 se muestra la estructura antes mencionada:

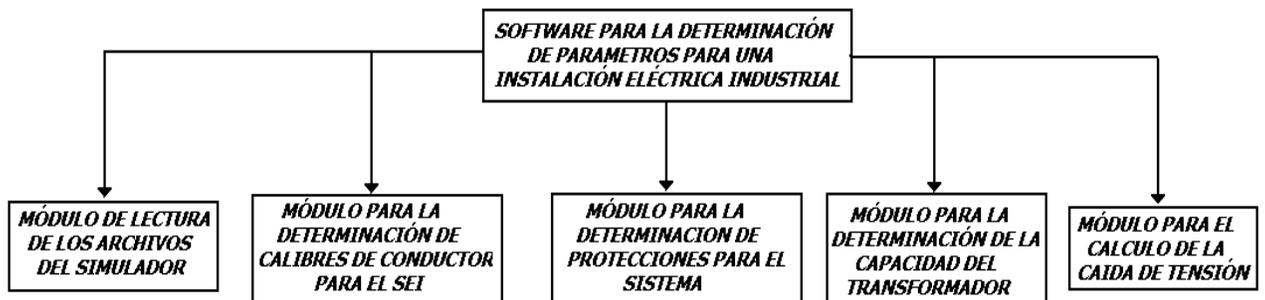


Figura 4.1 Estructura del simulador.

#### 4.2.1 Lectura de archivo del simulador

En muchas ocasiones debido a la gran cantidad de información que es procesada en un programa, es necesario que esta información sea almacenada en un elemento tal como un archivo de datos. Un archivo de datos se puede generar utilizando cualquier tipo de procesador o editor de textos. En el caso de este simulador se crearon los siguientes archivos de datos:

- Especificaciones técnicas del sistema

En este apartado se especifican las características necesarias de cada uno de los motores, así como las condiciones de operación, este es el archivo principal en el cual se basa el simulador para ser ejecutado. La Figura 4.2 muestra el archivo mencionado:

IDENTIFICADOR	POTENCIA DEL MOTOR (Hp)	VOLTAJE DE OPERACION	FUNCION DEL MOTOR	TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO (°C)	DISTANCIA AL ALIMENTADOR (MTS)	TIPO DE CONDUCTOR
M1	30	440	MOLINO	75	25	THWN
M2	30	440	MOLINO	75	30	THWN
M3	30	440	MOLINO	75	35	THWN
M4	30	440	MOLINO	75	40	THWN
M5	7.5	440	AGITADOR	75	45	THWN
M6	7.5	440	AGITADOR	75	50	THWN
M7	10	440	AGITADOR	75	45	THWN
M8	10	440	AGITADOR	75	40	THWN
M9	30	440	COMPRESOR	75	35	THWN
M10	3	440	BOMBA	75	30	THWN
M11	3	440	BOMBA	75	25	THWN
M12	3	440	BOMBA	75	30	THWN
M13	3	440	BOMBA	75	35	THWN
M14	3	440	BOMBA	75	40	THWN
M15	2	440	CRIBA	75	45	THWN
M16	2	440	CRIBA	75	50	THWN
M17	2	440	BOMBA	75	45	THWN
M18	7	220	MONOBLOK	75	40	THWN
M19	2	220	BOMBA	75	35	THWN
M20	2	220	BOMBA	75	30	THWN
M21	1	220	MAQUINA	75	25	THWN
M22	0.25	110	CERRADORA	75	30	THWN

Figura 4.2 Archivo principal de especificaciones técnicas.

- Archivo de ampacidad de conductores aislados de cobre.

En la tabla contenida en este archivo se puede identificar el calibre de un conductor, seleccionando el tipo de conductor según la temperatura de operación e identificando la corriente máxima en este. En la Figura 4.3 se muestra como está conformado el archivo de ampacidad:

CALIBRE DE CONDUCTOR (AWG-CMC)	TIPO DE CONDUCTOR						
	T	TW	RH RHW RUH THW THWN	TA TBS RHH RHHH	AVA AVL	AIA AA	TFE
18	0	0	21	0	0	0	0
16	0	0	22	0	0	0	0
14	14	15	25	30	30	30	40
12	20	20	30	35	40	40	55
10	30	30	40	45	50	55	75
8	40	45	50	60	65	75	95
6	55	65	70	80	85	95	120
4	70	85	90	105	115	120	145
3	80	100	105	120	130	145	170
2	95	115	120	135	145	165	195
1	110	130	140	160	170	190	220
1/0	125	150	155	190	200	225	250
2/0	145	175	185	215	230	250	280
3/0	165	200	210	245	265	285	315
4/0	195	230	235	275	310	340	370
250	215	255	270	315	335	0	0
300	240	285	300	345	380	0	0
350	260	310	325	390	420	0	0
400	280	335	360	420	450	0	0
500	320	380	405	470	500	0	0
600	355	420	455	525	545	0	0
700	385	460	490	560	600	0	0
750	400	475	500	580	620	0	0
800	410	490	515	600	640	0	0
900	435	520	555	0	0	0	0
1000	455	545	585	680	730	0	0
1250	495	590	645	0	0	0	0
1500	520	625	700	785	0	0	0
2000	560	665	775	840	0	0	0

Figura 4.3 Archivo de ampacidad.

- Archivo de corriente a plena carga de motores trifásicos.

En esta tabla está referida la potencia y el voltaje con los que trabaja un motor trifásico en forma normal, para de esta manera identificar la corriente a plena carga, por ejemplo: para un motor de 10 Hp con un voltaje de funcionamiento de 440v, la corriente a plena carga será de 15 amperes según la tabla contenida en este archivo. Esta tabla se muestra en la Figura 4.4.

POTENCIA DEL MOTOR	220V	440V	2400V
0.5	2.1	1.0	0.0
0.75	2.9	1.5	0.0
1.0	3.8	1.9	0.0
1.5	5.4	2.7	0.0
2.0	7.1	3.6	0.0
3.0	10.0	5.0	0.0
5.0	15.9	7.9	0.0
7.5	23.0	11.0	0.0
10.0	29.0	15.0	0.0
15.0	44.0	22.0	0.0
20.0	56.0	28.0	0.0
25.0	71.0	36.0	0.0
30.0	84.0	42.0	0.0
40.0	109.0	54.0	0.0
50.0	136.0	68.0	0.0
60.0	161.0	80.0	15.0
75.0	201.0	100.0	19.0
100.0	259.0	130.0	25.0
125.0	326.0	163.0	30.0
150.0	376.0	188.0	35.0
200.0	502.0	251.0	47.0

Figura 4.4 Archivo de corriente a plena carga de los motores.

- Tabla de transformadores comerciales

Este archivo contiene los valores de los transformadores comerciales y se usa en el modulo para la determinación de la capacidad del transformador, ya que al calcular el transformador hay que ajustarlo a un valor comercial existente.

- Tabla de protecciones comerciales

En este archivo se encuentran las protecciones comerciales existentes, este archivo es utilizado en el módulo para la determinación de protecciones del sistema (motores, alimentadores), ya que al calcular la protección, esta se tiene que ajustar a una comercial.

En la Tabla 4.1 se muestra el código utilizado para lectura de los datos anteriormente mencionados:

**Tabla 4.1** Código para lectura de datos.

```

void lectura(char *nombre)
{
    FILE *fp;
    int i;
    if ((fp = fopen(nombre,"r")) == NULL)
    {
        printf("No existe el archivo de entrada %s",nombre);
        exit(1);
    }
    fp = fopen(nombre,"r");
    fscanf(fp,"%d%d",&num_mot,&alimentadores);
    for (i=0; i<num_mot; i++)
        fscanf(fp,"%[^t] %f %f %[^t] %f %f %d",
        "%[\n]",identificador[i],&potencia[i],&voltaje[i],&temp[i],&dist[i],&num_alif[i],tipo[i]);
    fclose(fp);
    fp = fopen("corriente_plena_carga.dat","r");
    for (i=0; i<21; i++)
        fscanf(fp,"%f %f %f %f",
        "%f",&corriente_plena_carga[i][0],&corriente_plena_carga[i][1],&corriente_plena_carga[i][2],&corriente_plena_carga[i][3]);
    fclose(fp);
    fp = fopen("ampacidad.dat","r");
    for (i=0; i<29; i++)
        fscanf(fp,"%[^t] %f %f %f %f %f %f %f",
        calibre_conductor[i],&tabla_ampacidad[i][0],&tabla_ampacidad[i][1],&tabla_ampacidad[i][2],&tabla_ampacidad[i][3],&tabla_ampacidad[i][4],&tabla_
        a_ampacidad[i][5],&tabla_ampacidad[i][6]);
    fclose(fp);
    fp = fopen("proteccion.dat","r");
    for (i=0; i<43; i++)
        fscanf(fp,"%f",&prot_com[i]);

    printf("Se ha leído bien el archivo\n");
}

```

#### 4.2.2 Cálculo de calibres de conductor del sistema.

En esta sección el simulador el primer paso es determinar la corriente a plena carga de los motores, para esto se identifica el voltaje y la potencia de funcionamiento de cada motor abriendo el archivo que contiene las especificaciones de los motores, y con estos datos determinar la corriente a plena carga abriendo el archivo que contiene estos datos (Tabla de corriente a plena carga de los motores trifásicos).

En el caso de que un valor de corriente se encuentre entre dos valores los contenidos en la tabla, el simulador hará una operación de interpolación para obtener el valor exacto de corriente. En la Figura 4.5 se muestra el diagrama de bloques que representa el funcionamiento de esta etapa del simulador:

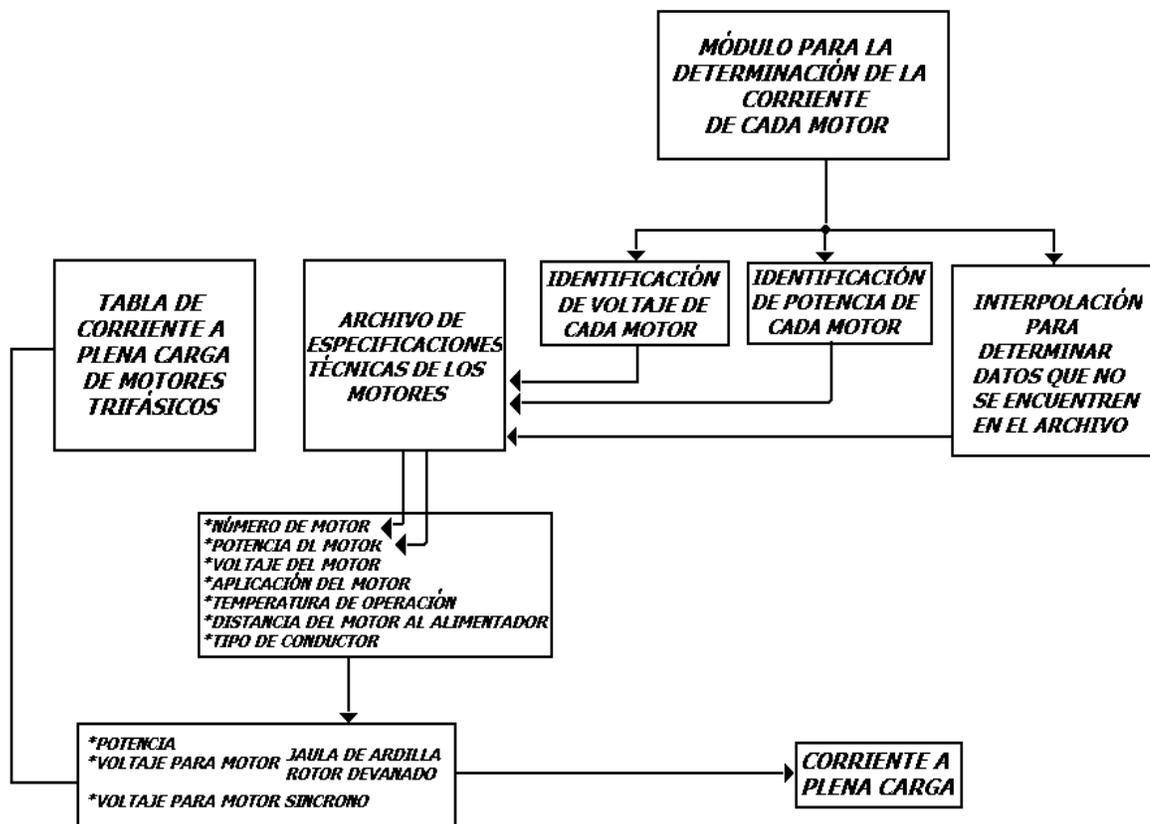


Figura 4.5 Diagrama de bloques para el cálculo de corriente a plena carga.

En la Tabla 4.2 se muestra el código que realiza el cálculo de corriente a plena carga de cada uno de los motores:

**Tabla 4.2** código para el cálculo de corriente a plena carga.

```
float calcula_corriente(float volt, float pot)
{
    int i;
    int pos;
    float valor, primero, segundo, corr;
    if (volt == 220)
        pos = 1;
    if (volt == 440)
        pos = 2;
    for (i=0; i<20; i++)
    {
        primero = corriente_plena_carga[i][0];
        segundo = corriente_plena_carga[i+1][0];
        if (pot >= primero && pot <= segundo)
        {
            if (pot == primero)
                corr = corriente_plena_carga[i][pos];
            if (pot == segundo)
                corr = corriente_plena_carga[i+1][pos];
            if (pot >= primero && pot <= segundo)
                corr = (corriente_plena_carga[i+1][pos]-corriente_plena_carga[i][pos])/(segundo-primero)*(pot-primero)+corriente_plena_carga[i][pos];
        }
    }
    return corr;
}
```

Con el valor de la corriente a plena carga de cada motor, se determina cual es la corriente máxima que debe tener el conductor que alimentara a cada uno de los motores. Para esto se dimensiona la corriente a plena carga de cada uno de los motores a un 125% según el procedimiento:

$$I_{MAX} = 1.25 \times (I_{PLENA\_CARGA}) \quad (4.1)$$

Así pues el código propuesto para esta sección se muestra en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3** Código para el cálculo de corriente máxima en los conductores.

```
void calculos()
{
    // Modulo para el cálculo de la corriente en los conductores a los motores
    int i;
    for (i=0; i<22; i++)
        corriente[i] = 1.25*calcula_corriente(voltaje[i], potencia[i]);
}
```

Para determinar el calibre del conductor que va a alimentar a los motores, para esto se identifica el tipo de conductor y la temperatura de operación abriendo el archivo de especificaciones técnicas, después se manda llamar la corriente máxima que circulara en el conductor determinado en la sección anterior del simulador, y con estos datos identificar el calibre correspondiente identificándolo en el archivo que contiene la tabla de ampacidad de los conductores.

El diagrama de bloques que se muestra en la Figura 4.6 donde se ilustra la iteración de esta etapa del simulador:

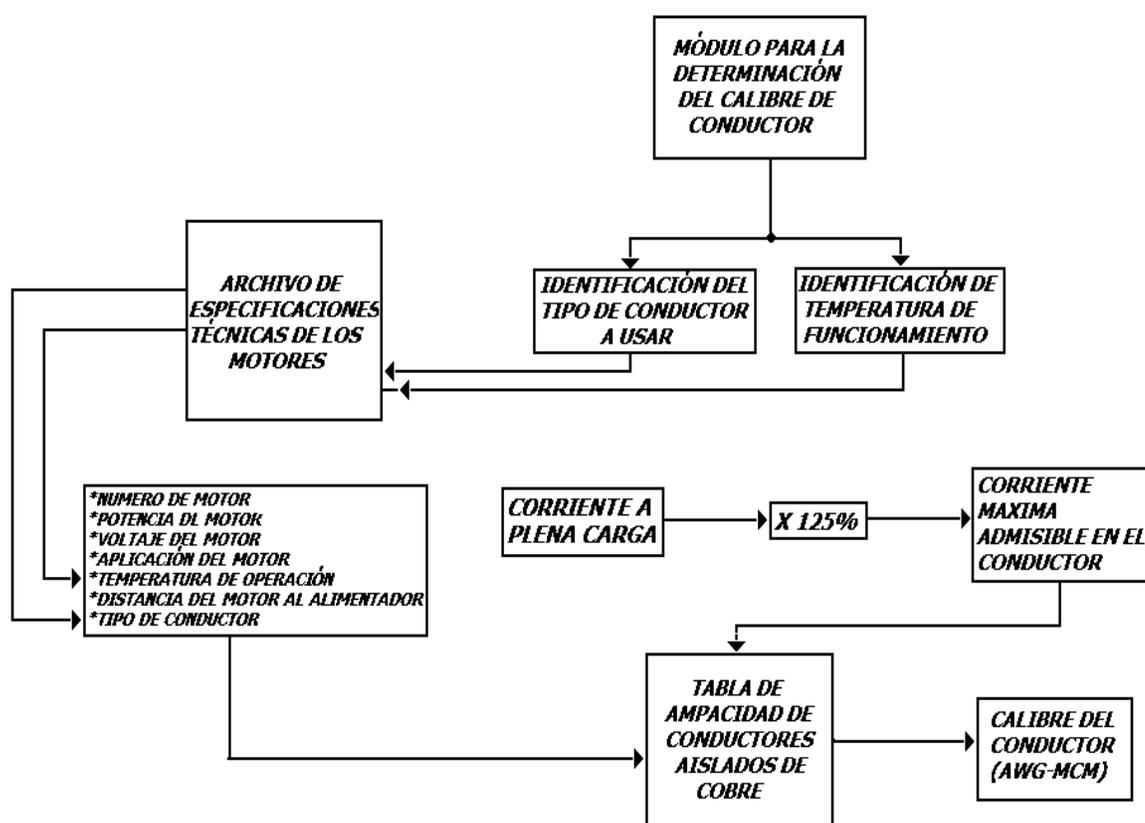


Figura 4.6 Diagrama de bloques del cálculo de calibres de conductor.

El código utilizado es el que se muestra en la Tabla 4.4:

**Tabla 4.4** Código para el cálculo de calibre de conductores.

```

void calcula_calibre()
{
    int pos;
    int pos2;
    int i,j;
    float primero,segundo;
    for (i=0; i<num_mot; i++)
    {
        pos = 0;
        if (strcmp(tipo[i],"TW")==0)
            pos = 0;
        if (strcmp(tipo[i],"THWN")==0)
            pos = 1;
        if (strcmp(tipo[i],"RHHN")==0)
            pos = 2;
        if (strcmp(tipo[i],"AVL")==0)
            pos = 3;
        if (strcmp(tipo[i],"AIA")==0)
            pos = 4;
        if (strcmp(tipo[i],"AA")==0)
            pos = 5;
        if (strcmp(tipo[i],"TFE")==0)
            pos = 6;
        pos2 = 0;
        pos = 1;
        for (j=0; j<28; j++)
        {
            primero = tabla_ampacidad[j][pos];
            segundo = tabla_ampacidad[j+1][pos];
            if (corriente[i] >= primero && corriente[i] <= segundo)
            {
                strcpy(calibre[i],calibre_conductor[j+1]);
                j = 30;
            }
        }
    }
}

```

Para el cálculo del calibre de los alimentadores del sistema, se identifica el motor con la corriente a plena carga más grande del alimentador y se dimensiona a un 125% para luego sumar la corriente a plena carga de los demás motores, como se muestra en (4.2):

$$I = 1.25 \times I_{MOTOR\_MAYOR} + \sum (I_{MOTORES\_RESTANTES}) \quad (4.2)$$

Al conocer la corriente en el alimentador, se puede determinar el conductor para el alimentador identificándolo en el archivo que contiene la tabla de ampacidad de los conductores.

El código de esta sección se observa en la Tabla 4.5

**Tabla 4.5** Código para el cálculo de conductor para alimentadores.

```
Void calcula_alimentadores()
{
    int i,j,pos;
    float mayor;
    float suma;
    float suma1;
    float suma2;
    float sugerida;
    float lim_inf;
    float lim_sup;
    float primero,segundo;
    for (i=0; i<alimentadores; i++)
    {
        suma = 0.0;
        suma1 = 0.0;
        suma2 = 0.0;
        mayor = 0.0;
        for (j=0; j<num_mot; j++)
        {
            if (num_ali[j] == i+1 )
            {
                mayor = corriente[j]/1.25;
                j = num_mot;
            }
        }

        for (j=0; j<num_mot; j++)
            if (num_ali[j] == i+1 )
            {
                suma = suma + corriente[j]/1.25;
                if (corriente[j]/1.25 > mayor)
                    mayor = corriente[j]/1.25;
            }
        suma1 = suma + mayor*1.5;
        suma2 = suma + mayor*0.25;
        corriente_alimentador[i] = suma1;
        printf("La corriente total %d es %f\n",i+1,suma);
        printf("Corriente del alimentador %f\n",suma2);
        for (j=0; j<42; j++)
        {
            lim_inf = prot_com[j];
            lim_sup = prot_com[j+1];
            if ((suma1 >= lim_inf) && (suma1 <= lim_sup))
            {
                sugerida = lim_sup;
                printf("Proteccion sugerida alimentador %d = %f\n",i+1,sugerida);
                prot_sug_ali[i] = sugerida;
            }
        }
        pos = 1;
        for (j=0; j<28; j++)
        {
            primero = tabla_ampacidad[j][pos];
            segundo = tabla_ampacidad[j+1][pos];
        }
    }
}
```

### 4.2.3 Cálculo en % de la caída de tensión

En esta parte el simulador determina la regulación de voltaje para cada uno de los motores. Primero se determina la sección transversal del conductor tomando como referencia el conductor para los motores calculado en secciones anteriores del simulador.

Después se identifican los datos necesarios para la aplicación de la fórmula que determina la caída de tensión:

$$E\% = \frac{2 \times I \times L}{S \times E} \quad (4.3)$$

Donde:

$L$ = Longitud del conductor del motor al alimentador

$I$ = Corriente a plena carga del motor.

$E$ = voltaje de funcionamiento del motor.

$S$ = sección transversal del conductor en mm.

$E\%$ = Regulación de voltaje en %

La longitud del conductor y el voltaje de funcionamiento se obtienen del archivo principal donde están contenidos estos datos, la corriente a plena carga de los motores e un dato que ya se obtuvo, y al tener determinada la sección transversal del conductor se calcula la caída de tensión en cada motor.

El diagrama de bloques de esta etapa se muestra en la Figura 4.7:

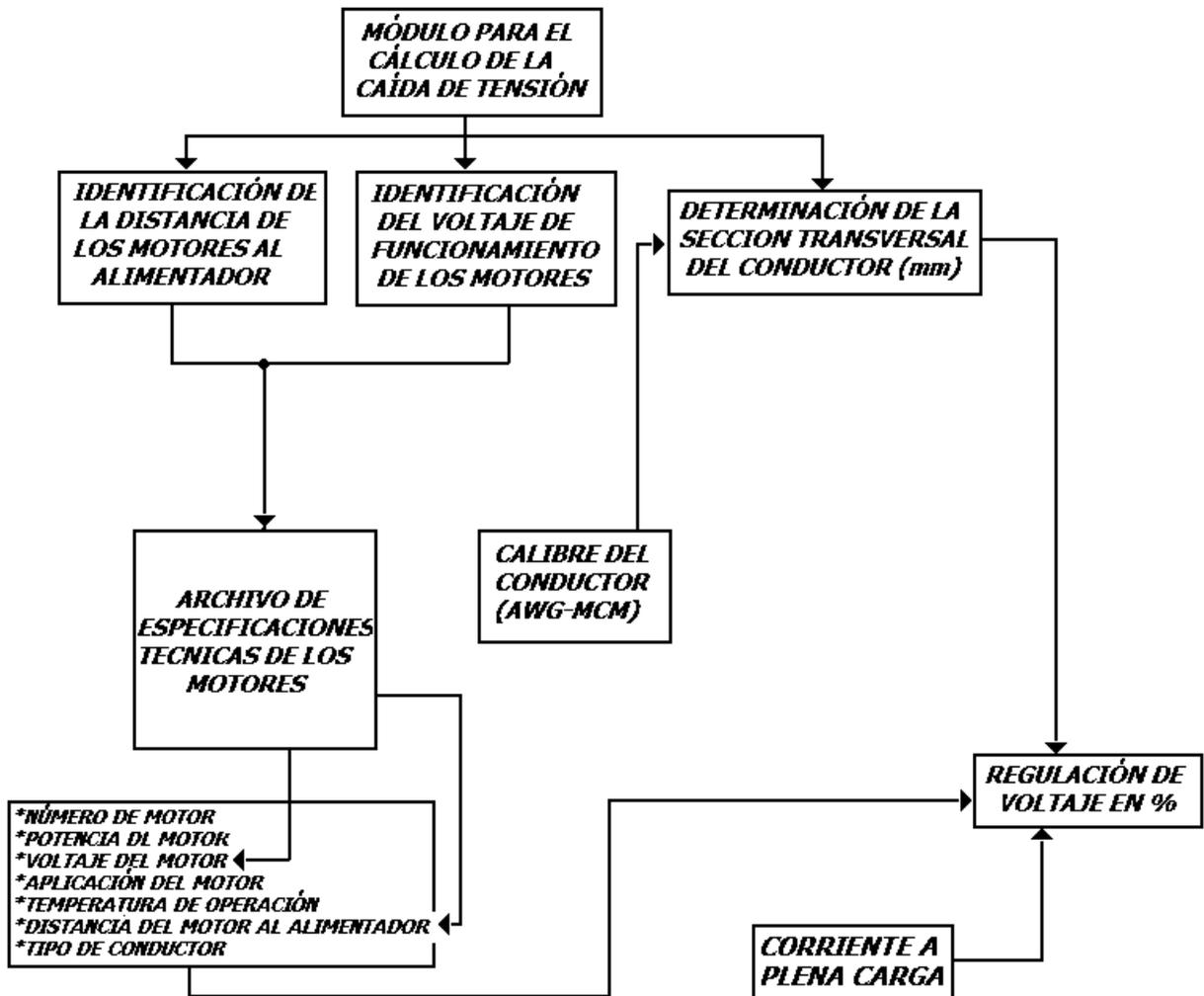


Figura 4.7 Diagrama de bloques para el cálculo de la caída de tensión.

El código utilizado en esta parte se muestra en la Tabla 4.6:

**Tabla 4.6** código para el cálculo de la caída de tensión

```
for (i=0; i<num_mot; i++)
{
    s = 0.0;
    if (strcmp(calibre[i],"18")==0)          s = 0.8232;
    if (strcmp(calibre[i],"16")==0)          s = 1.3090;
    if (strcmp(calibre[i],"14")==0)          s = 2.0810;
    if (strcmp(calibre[i],"12")==0)          s = 3.3090;
    if (strcmp(calibre[i],"10")==0)          s = 5.2610;
    if (strcmp(calibre[i],"8")==0)           s = 8.3670;
    if (strcmp(calibre[i],"6")==0)           s = 13.3030;
    if (strcmp(calibre[i],"4")==0)           s = 21.1480;
    if (strcmp(calibre[i],"3")==0)           s = 26.6700;
    if (strcmp(calibre[i],"2")==0)           s = 33.6320;
    if (strcmp(calibre[i],"1")==0)           s = 42.4060;
    if (strcmp(calibre[i],"1/0")==0)         s = 53.4770;
    if (strcmp(calibre[i],"2/0")==0)         s = 67.4190;
    if (strcmp(calibre[i],"3/0")==0)         s = 85.0320;
    if (strcmp(calibre[i],"4/0")==0)         s = 107.2250;
    if (strcmp(calibre[i],"250")==0)         s = 126.644;
    if (strcmp(calibre[i],"300")==0)         s = 151.999;
    if (strcmp(calibre[i],"350")==0)         s = 177.354;
    if (strcmp(calibre[i],"400")==0)         s = 202.709;
    if (strcmp(calibre[i],"500")==0)         s = 253.354;
    if (strcmp(calibre[i],"600")==0)         s = 303.999;
    if (strcmp(calibre[i],"700")==0)         s = 354.708;
    if (strcmp(calibre[i],"750")==0)         s = 379.837;
    if (strcmp(calibre[i],"800")==0)         s = 405.160;
    if (strcmp(calibre[i],"900")==0)         s = 455.805;
    if (strcmp(calibre[i],"1000")==0)        s = 506.450;
    if (strcmp(calibre[i],"1250")==0)        s = 633.063;
    if (strcmp(calibre[i],"1500")==0)        s = 759.677;
    if (strcmp(calibre[i],"2000")==0)        s = 1012.901;
    regulacion[i] = (2.0*dist[i]*(corriente[i]/1.25))/(s*voltaje[i]);
}
}
```

#### 4.2.4 Cálculo de la capacidad del transformador

En este apartado se determina la capacidad que debe tener el transformador para alimentar al sistema satisfactoriamente. El procedimiento que sigue el simulados es el de sumar la totalidad de las cargas del sistema y convertirla a una sola potencia (watts), teniendo esto se

divide entre el factor de potencia ( $F_p$ ) con el cual va a trabajar el sistema eléctrico y así determinar el consumo de energía del sistema.

Es preciso señalar que se consideran un 20% más de la capacidad del transformador calculada con el fin de prevenir un crecimiento futuro de carga en el sistema.

$$\text{Transformador} = \left( \frac{\sum \text{CARGAS} \times 0.746}{F_p} \right) \times (1.2) \quad (4.4)$$

Al tener determinada la capacidad del transformador que se requiere para alimentar al sistema, se identifica el valor comercial más aproximado identificándolo del archivo que contiene estos valores. El diagrama de bloques de esta etapa se muestra en la Figura 4.8:

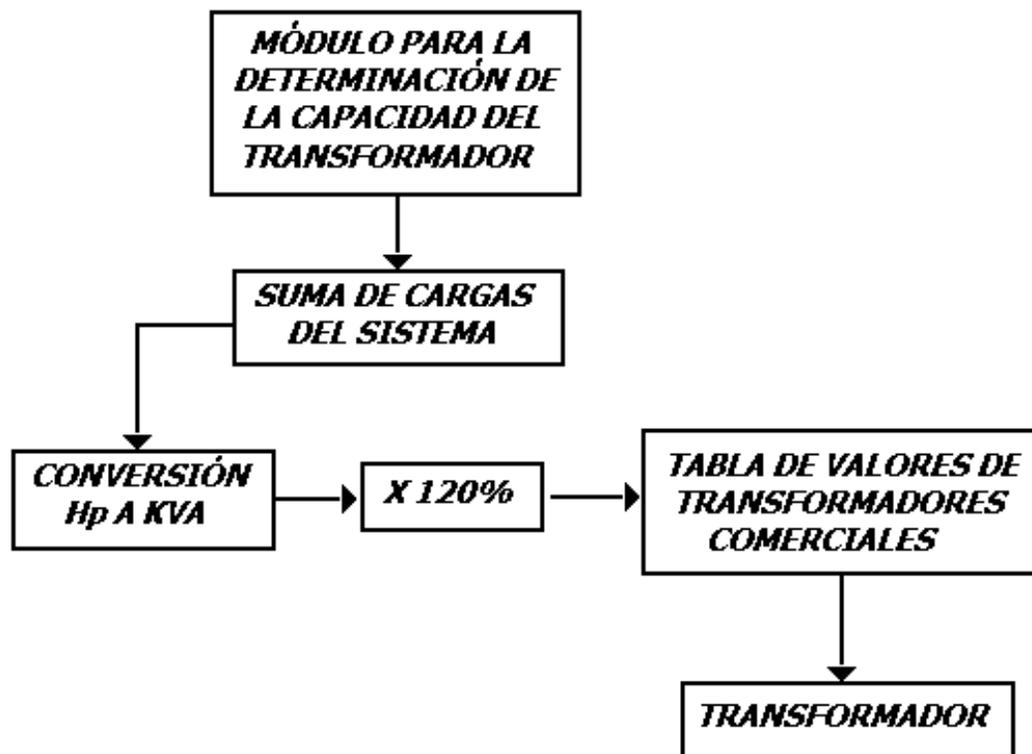


Figura 4.8 Diagrama de bloques para el cálculo de la capacidad del Transformador.

El código usado se muestra en la Tabla 4.7:

**Tabla 4.7** Código para el cálculo de la capacidad del transformador.

```
float calcula_potencia_transformador()
{
    int i;
    float suma;
    suma = 0.0;
    for (i=0; i<num_mot; i++)
        suma = suma + potencia[i];
    return (suma*0.746)/0.85*1.2;
}

float determina_tipo_transformador()
{
    FILE *fp;
    fp = fopen("trans.dat","r");
    float potencia_calculada;
    float potencias_comerciales[15];
    float potencia_comercial_calculada;
    int i;
    int band = 0;
    potencia_calculada = calcula_potencia_transformador();
    for (i=0; i<15; i++)
        fscanf(fp,"%f",&potencias_comerciales[i]);
    for (i=0; i<15; i++)
    {
        if (potencia_calculada < potencias_comerciales[i])
        {
            potencia_comercial_calculada = potencias_comerciales[i];
            i = 16;
            band = 1;
        }
    }
    if (band == 0)
        printf("No existe transformador comercial\n");
    return potencia_comercial_calculada;
}
```

#### 4.2.5 Cálculo de protecciones para el sistema

En esta sección del simulador se determinan las protecciones para los motores y para los alimentadores. Para determinar las protecciones de los motores se dimensiona a un %150 la corriente a plena carga de cada motor, en base a la corriente obtenida se determina la

protección seleccionada en el archivo de protecciones comerciales. En la Tabla 4.7 se muestra esta parte del código:

**Tabla 4.8** Cálculo de protecciones para los motores

```

void calcula_protecciones()
{
    int i,j;
    float lim_inf;
    float lim_sup;
    for (i=0; i<num_mot; i++)
    {
        proteccion[i] = 1.5*corriente[i]/1.25;
        for (j=0; j<42; j++)
        {
            lim_inf = prot_com[j];
            lim_sup = prot_com[j+1];
            if ((proteccion[i] >= lim_inf) && (proteccion[i] <= lim_sup))
                prot_sugerida[i] = lim_sup;
        }
    }
}

```

Para las protecciones de los alimentadores, se determina el motor con la corriente a plena carga más grande en el alimentador y se dimensiona a un %250 para después sumar las corrientes a plena carga restantes de los motores conectados al alimentador. Todo esto se simplifica a la (4.4).

$$2.5 \times I_{MOTOR\_MAYOR} + \sum MOTORES\_RESTANTES \quad (4.5)$$

#### 4.2.6 Generación de resultados

En esta parte el simulador se genera un archivo el cual va a contener todos los resultados calculados en las secciones anteriores del simulador. El código se muestra en la Tabla 4.8:

**Tabla 4.9** Código para la generación de resultados.

```

void genera_reporte()
{
    FILE *fp;
    int i;
    fp = fopen("reporte.dat","w");
    fprintf(fp,"=====\n");
    fprintf(fp,"      Sistema de Analisis para Sistemas Electricos Industriales\n");
    fprintf(fp,"=====\n");
    fprintf(fp,"      Autores: P.I.E. Luis Fernando Martinez Gomez, Dr. Antonio Ramos Paz\n");
    fprintf(fp,"=====\n");
    fprintf(fp,"      Sistema Original\n");
    fprintf(fp,"=====\n");
    for (i=0; i<num_mot; i++)
        fprintf(fp,"%s\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t%f\t\n",identificador[i],potencia[i],voltaje[i],uso[i],temp[i],dist[i],tipo[i]);
    fprintf(fp,"=====\n");
    fprintf(fp,"      Calibre de los conductores\n");
    for (i=0; i<num_mot; i++)
        fprintf(fp,"%s\t%f\t\n",identificador[i],calibre[i],tipo[i]);
    fprintf(fp,"=====\n");
    fprintf(fp,"      Regulacion de Voltaje\n");
    fprintf(fp,"=====\n");
    for (i=0; i<num_mot; i++)
        fprintf(fp,"%s\t%f\n",identificador[i],regulacion[i]);
    fprintf(fp,"=====\n");
    fprintf(fp,"      Transformador\n");
    fprintf(fp,"=====\n");
    fprintf(fp,"Potencia del transformador = %f KVA \n",determina_tipo_transformador());
    fprintf(fp,"=====\n");
    fprintf(fp,"      Protecciones por motor\n");
    fprintf(fp,"=====\n");
    for (i=0; i<num_mot; i++)
        fprintf(fp,"Motor %d Proteccion calculada %f Proteccion sugerida %f \n",i+1,proteccion[i],prot_sugerida[i]);
    fprintf(fp,"=====\n");
    fprintf(fp,"      Protecciones por alimentador\n");
    fprintf(fp,"=====\n");
    for (i=0; i<alimentadores; i++)
        fprintf(fp,"Alimentador %d Proteccion sugerida %f \n",i+1,prot_sug_ali[i]);
    fprintf(fp,"=====\n");
    fprintf(fp,"      Calibre por alimentador\n");
    fprintf(fp,"=====\n");
    for (i=0; i<alimentadores; i++)
        fprintf(fp,"Alimentador %d Calibre sugerido %s \n",i+1,calibre_aux[i]);
    fprintf(fp,"=====\n");
    fclose(fp);
}

```

A continuación se presenta un diagrama de bloques donde se indica el funcionamiento global del simulador:



# CAPITULO 5

## CASOS DE ESTUDIO

En este capítulo se analizan algunos casos de estudio para hacer el comparativo de los resultados calculados con los resultados que arroja el simulador.

### 5.1 CASO 1

Este es un caso que simula una pequeña industria con 4 motores, se harán los cálculos mencionados y posteriormente se compararan con los que arroje el simulador. Los detalles de este caso se muestran en la Figura 5.1 y en la Tabla 5.1.

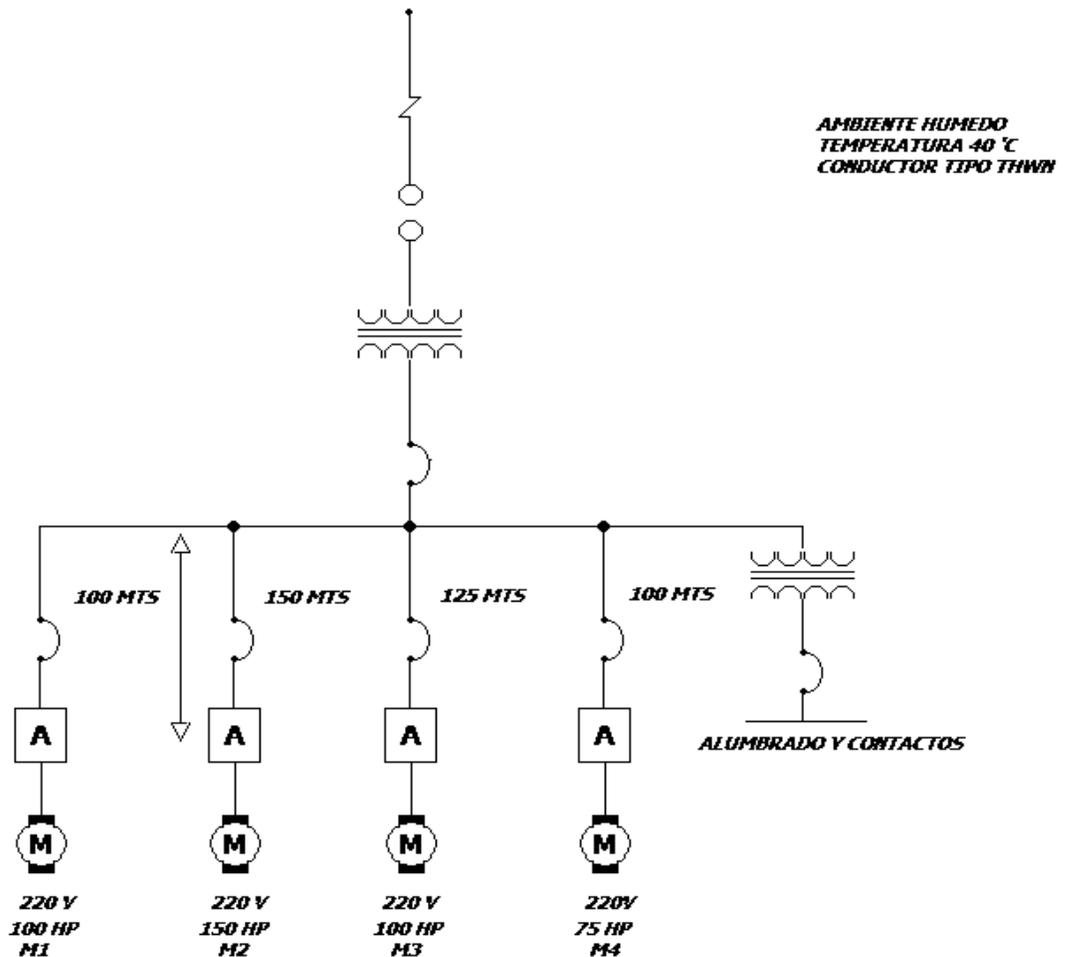


Figura 5.1 Circuito del caso 1.

El sistema cuenta con los siguientes datos:

- Voltaje del sistema 220V
- Temperatura de funcionamiento del sistema 40°
- Factor de potencia 0.85

**Tabla 5.1** Datos del caso 1

<b>MOTOR</b>	<b>POTENCIA(Hp)</b>	<b>DISTANCIA AL ALIMENTADOR(Mts)</b>
M1	100	100
M2	150	150
M3	100	125
M4	75	100

### **5.1.1 Cálculo de la corriente a plena carga de los motores**

Con la potencia y el voltaje como referencia de la Tabla 430-150 de la NOM-SE-2005 se toma el valor de la corriente a plena carga cada uno de los motores, por lo tanto en la Tabla 5.2 se tiene:

**Tabla 5.2** Tabla corriente a plena carga

<b>MOTOR</b>	<b>CORRIENTE A PLENA CARGA(Amp)</b>
M1	<b>259</b>
M2	<b>376</b>
M3	<b>259</b>
M4	<b>201</b>

### **5.1.2 Cálculo del calibre de conductor**

El conductor del circuito derivado se dimensiona para el 125% de la corriente anterior, para así poder determinar el calibre de conductor de la Tabla 310-17 de la NOM-SE-2005 de ampacidad de los conductores, en la Tabla 5.3 se muestra:

**Tabla 5.3** Determinación de Iplena carga y calibre de conductores.

<b>MOTOR</b>	<b>I PLENA CARGA X (125%) (Amp)</b>	<b>CALIBRE DE CONDUCTOR</b>
M1	$1.25 \times 259 = 323.75$	400 MCM
M2	$1.25 \times 376 = 470$	750 MCM
M3	$1.25 \times 259 = 323.75$	400 MCM
M4	$1.25 \times 201 = 251.25$	250 MCM

### 5.1.3 Cálculo de % de caída de tensión

Para el cálculo de la caída de tensión se aplicará la ecuación 4.2, la sección transversal de conductor (S) se determina de la Tabla 3.7 tomando como base el calibre de conductor previamente calculado, los demás datos como son, la distancia al alimentador (L), la corriente a plena carga del motor (I), y el voltaje de funcionamiento (E) ya se tienen identificados, por lo tanto en la Tabla 5.4 tenemos:

**Tabla 5.4** Caída de tensión.

<b>MOTOR</b>	<b>Iplena C</b>	<b>E</b>	<b>L</b>	<b>Calibre</b>	<b>S</b>	<b>E%</b>
M1	259	220	100	400 MCM	202.709	1.16153967
M2	376	220	150	700 MCM	354.708	1.34986132
M3	259	220	125	400 MCM	202.709	1.45192459
M4	201	220	100	250 MCM	126.644	1.44284192

### 5.1.4 Cálculo de protecciones para los motores

De la Tabla 3.4 para motores trifásicos y fusibles sin retardo de tiempo se toma el 150% de la corriente nominal del motor, como se ve en la Tabla 5.5:

**Tabla 5.5** Protección de motores

<b>MOTOR</b>	<b>I PLENA CARGA X (150%) (Amp)</b>	<b>PROTECCION PROPUESTA (Amp)</b>
M1	$1.5 \times 259 = 388.5$	<b>400</b>
M2	$1.5 \times 376 = 564$	<b>600</b>
M3	$1.5 \times 259 = 388.5$	<b>400</b>
M4	$1.5 \times 201 = 301.5$	<b>350</b>

### 5.1.5 Cálculo de la capacidad del transformador

Se suma la totalidad de las cargas del sistema:

$$Hp_{TOTAL} = (100 + 100 + 150 + 75) = 425Hp$$

Conversión de Hp a Kwatts:

$$kW = \frac{(425Hp) \times (746)}{1000} = 317.05kW$$

Considerando un factor de potencia (F.P) de 0.85, se determina la capacidad del transformador:

$$Trans = \frac{(Kw)}{Fp} = \frac{(317.05Kw)}{(0.85)} = 373KVA$$

Si se considera una reserva para el transformador del 20% se tiene:

$$Trans = (373KVA) \times (1.2) = 447.6KVA$$

Según los valores comerciales se instalara un transformador de **500 KVA**

### 5.1.6 Cálculo del alimentador

De acuerdo con el procedimiento para el cálculo del calibre del conductor del alimentador:

$$I = 2.5 \times (84) + (84) = 294AMP$$

En este caso se tiene:

$$I = 1.25 \times (376) + (259 + 259 + 201) = 1189 \text{ AMP}$$

De acuerdo a la Tabla 310-17 de la NOM-SE-2005 el conductor THWN de cobre a usar es de **2000 MCM**.

### 5.1.7 Protección para el alimentador

Para un alimentador se toma 2.5 veces de la corriente nominal:

$$I = 2.5 \times (I_{MOTOR\_MAYOR}) + \sum (I_{MOTORES\_RESTANTES})$$

$$I = 2.5 \times (376) + (259 + 259 + 201) = 1659 \text{ AMP}$$

Por lo que se propone una protección de **1 700 AMP**

### 5.1.8 Resultados del simulador

A continuación se muestran los resultados que determinó el simulador:

Sistema de Análisis para Sistemas Eléctricos Industriales						
Sistema Original						
M1	100.000000	220.000000	MOLINO	40.000000	100.000000	THWN
M2	150.000000	220.000000	MOLINO	40.000000	150.000000	THWN
M3	100.000000	220.000000	MOLINO	40.000000	125.000000	THWN
M4	75.000000	220.000000	MOLINO	40.000000	100.000000	THWN
Calibre de los conductores						
M1	400	THWN				
M2	750	THWN				
M3	400	THWN				
M4	250	THWN				
Regulación de Voltaje						
M1	1.161540					
M2	1.349861					
M3	1.451925					
M4	1.442842					
Transformador						

Potencia del transformador = 500.000000 KVA

Protecciones por motor

Motor 1 Protección calculada 388.500000    Protección sugerida 400.000000  
Motor 2 Protección calculada 564.000000    Protección sugerida 600.000000  
Motor 3 Protección calculada 388.500000    Protección sugerida 400.000000  
Motor 4 Protección calculada 301.500000    Protección sugerida 350.000000

Protecciones por alimentador

Alimentador 1 Protección sugerida 1800.000000

Calibre por alimentador

Alimentador 1 Calibre sugerido 2000 MCM

### 5.1.9 Comparación de resultados

En la Tabla 5.6 se muestra una comparación de los resultados obtenidos del simulador con los que se obtuvieron en los cálculos realizados.

**Tabla 5.6** Comparación de resultados

	<b>CALCULADO</b>	<b>SIMULADOR</b>	<b>CALCULADO</b>	<b>SIMULADOR</b>	<b>CALCULADO</b>	<b>SIMULADOR</b>
<b>MOTOR</b>	<b>CALIBRE DE CONDUCTOR</b>	<b>CALIBRE DE CONDUCTOR</b>	<b>REGULACION DE VOLTAJE</b>	<b>REGULACION DE VOLTAJE</b>	<b>PROTECCION DEL MOTOR</b>	<b>PROTECCION DEL MOTOR</b>
M1	400 MCM	400 MCM	1.1615	1.16153967	400amp	400amp
M2	700 MCM	700 MCM	1.4450	1.44549114	600amp	600amp
M3	400 MCM	400 MCM	1.4519	1.45192459	400amp	400amp
M4	250 MCM	250 MCM	1.4428	1.44284192	350amp	350amp

Transformador determinado por los cálculos= 500 KVA

Transformador determinado por el simulador= 500 KVA

Calibre del alimentador determinado por los cálculos= 1/0 MCM

Calibre del alimentador determinado por los cálculos= 1/0 MCM

En este caso podemos constatar que los resultados obtenidos por medio del procedimiento calculado son similares a los arrojados por el simulador que se desarrollo.

Se puede apreciar el funcionamiento correcto del simulador para el caso analizado.

## 5.2 CASO 2

En este caso se presenta una industria con 9 motores ilustrado en la Figura 5.2, de la misma manera que el caso anterior se realizaran los cálculos y se compararan con los que arroje el simulador para valorar su desempeño.

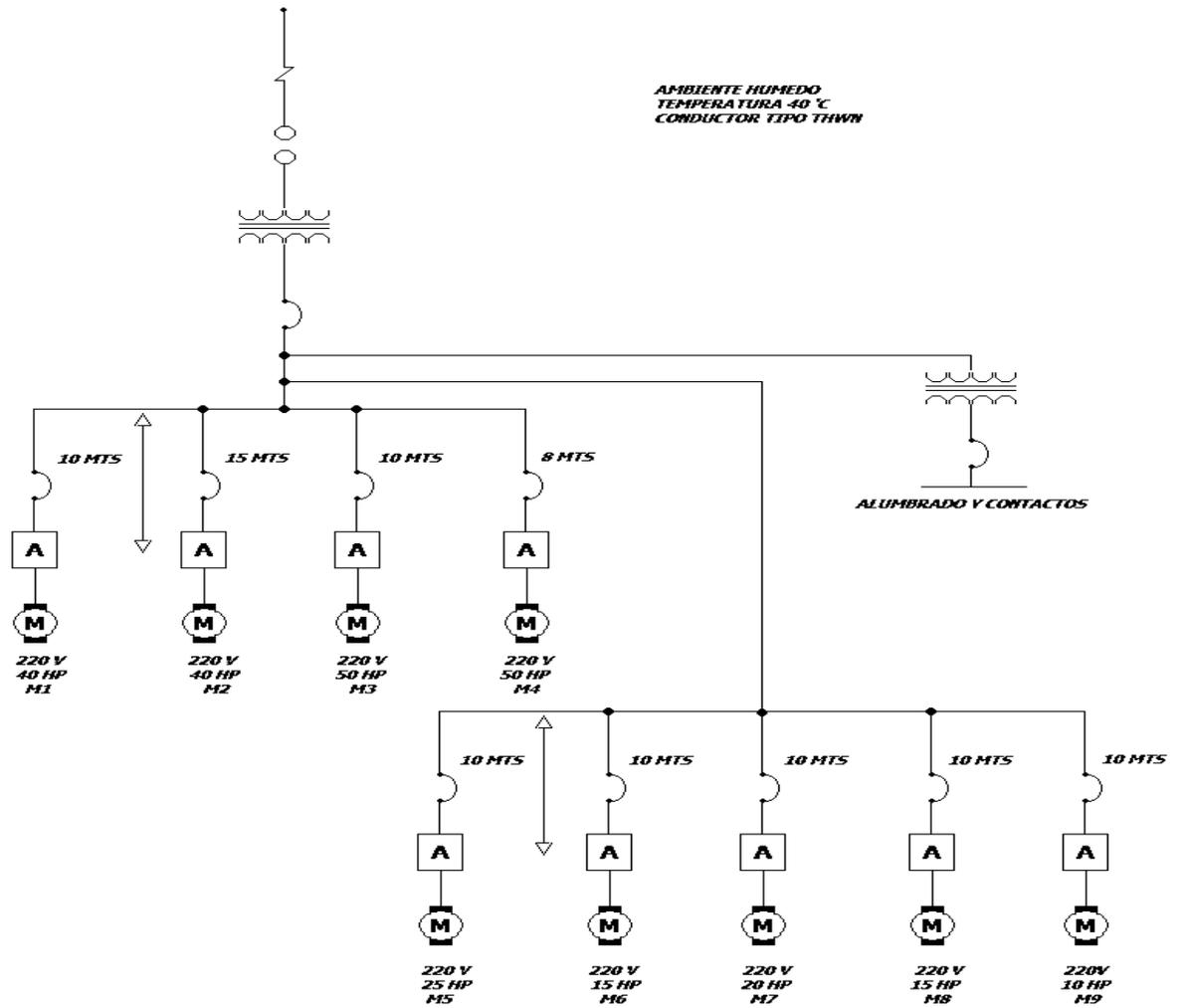


Figura 5.2 Circuito del caso 2.

Los datos del sistema son los siguientes:

- Voltaje del sistema= 220V
- Temperatura de funcionamiento= 40°
- Factor de potencia= 0.85

### 5.2.1 Determinación de la corriente de plena carga de cada motor

En la Tabla 5.7 se muestra la corriente a plena carga de cada motor según su potencia.

**Tabla 5.7** Obtención de corriente a plena carga

<b>MOTOR</b>	<b>POTENCIA DEL MOTOR (Hp)</b>	<b>CORRIENTE A PLENA CARGA (Amp)</b>
M1	40	109
M2	40	109
M3	50	136
M4	50	136
M5	25	71
M6	15	44
M7	20	56
M8	15	44
M9	10	29

### 5.2.2 Determinación del calibre de conductor

En la Tabla 5.8 se muestra el calibre de conductor tomando como referencia la corriente a plena carga dimensionada al 125%.

**Tabla 5.8** Obtención del calibre de conductor.

<b>MOTOR</b>	<b>I PLENA CARGA X (125%) (Amp)</b>	<b>CALIBRE DE CONDUCTOR</b>
M1	$1.25 \times 109 = 136.25$	1/0 MCM
M2	$1.25 \times 109 = 136.25$	1/0 MCM
M3	$1.25 \times 136 = 170$	2/0 MCM
M4	$1.25 \times 136 = 170$	2/0 MCM
M5	$1.25 \times 71 = 88.75$	3 AWG
M6	$1.25 \times 44 = 55$	6 AWG
M7	$1.25 \times 56 = 70$	4 AWG
M8	$1.25 \times 44 = 55$	6 AWG
M9	$1.25 \times 29 = 36.25$	8 AWG

### 5.2.3 Cálculo de la caída de tensión de cada motor.

En la Tabla 5.9 se muestra la caída de tensión de cada motor calculándolo según el procedimiento, tomando como base sus características.

**Tabla 5.9** Caída de tensión en cada motor.

Motor	Hp	Amperes	L	Calibre	S	E%
M1	40	109	10	1/0 MCM	53.477	0.18529631
M2	40	109	15	1/0 MCM	53.477	0.27794447
M3	50	136	10	2/0 MCM	67.419	0.18338505
M4	50	136	8	2/0 MCM	67.419	0.14670804
M5	25	71	10	3 AWG	26.67	0.2420152
M6	15	44	10	6 AWG	13.303	0.30068406
M7	20	56	10	4 AWG	21.148	0.24072769
M8	15	44	10	6 AWG	13.303	0.30068406
M9	10	29	10	8 AWG	8.367	0.31509067

### 5.2.4 Cálculo de protecciones para los motores

En la Tabla 5.10 se determina cada una de las protecciones para los motores:

**Tabla 5.10** Protección para motores

MOTOR	I PLENA CARGA X (150%) (Amp)	PROTECCION PROPUESTA (Amp)
M1	$1.5 \times 109 = 163.5$	<b>180</b>
M2	$1.5 \times 109 = 163.5$	<b>180</b>
M3	$1.5 \times 136 = 204$	<b>220</b>
M4	$1.5 \times 136 = 204$	<b>220</b>
M5	$1.5 \times 71 = 106.5$	<b>115</b>
M6	$1.5 \times 44 = 66$	<b>70</b>
M7	$1.5 \times 56 = 84$	<b>100</b>
M8	$1.5 \times 44 = 66$	<b>70</b>
M9	$1.5 \times 29 = 43.5$	<b>50</b>

### 5.2.5 Cálculo de la capacidad del transformador

Suma de las cargas del sistema:

$$Hp_{TOTAL} = (40 + 40 + 50 + 50 + 25 + 15 + 20 + 15 + 10) = 265Hp$$

Conversión de Hp a kwatts:

$$kW = \frac{(265Hp) \times (746)}{1000} = 197.59kW$$

Considerando un factor de potencia (F.P) de 0.85, se determina la capacidad del transformador:

$$\text{Capacidad Transformador} = \frac{kW}{fp} = \frac{197.59kW}{0.85} = 232.576kVA$$

Si se considera una reserva para el transformador del 30% se tiene:

$$\text{Capacidad del Transformador} = (232.576_{kVA}) \times (1.3) = 302.349kVA$$

Según los valores comerciales se instalara un transformador de **350 KVA**

### 5.2.6 Cálculo de alimentadores

De acuerdo con el procedimiento para el cálculo del calibre del conductor del alimentador:

$$I = 1.25 \times (I_{MOTOR\_MAYOR}) + \sum (I_{MOTORES\_RESTANTES})$$

Para el alimentador 1:

$$I = 1.25 \times (136) + (136 + 109 + 109) = 524A$$

De acuerdo a la Tabla 310-17 de la NOM-SE-2005 el conductor THWN de cobre a usar es de **1000 MCM**.

Para el alimentador 2:

$$I = 1.25 \times (71) + (56 + 44 + 44 + 29) = 261A$$

De acuerdo a la Tabla 310-17 de la NOM-SE-2005 el conductor THWN de cobre a usar es de **300 MCM**.

### 5.2.7 Protección para los alimentadores

Para un alimentador se toma 2.5 veces de la corriente nominal:

$$I = 2.5 \times (I_{MOTOR\_MAYOR}) + \sum (I_{MOTORES\_RESTANTES})$$

Para el alimentador 1:

$$I = 2.5 \times (136) + (136 + 109 + 109) = 694A$$

Por lo que se usara una protección de **700 A**.

Para el alimentador 2:

$$I = 2.5 \times (71) + (56 + 44 + 44 + 29) = 350.5A$$

Por lo que se propone una protección de **350 A**.

### 5.2.8 Resultados del simulador

A continuación se muestran los resultados arrojados por el simulador:

---

---

Sistema de Análisis para Sistemas Eléctricos Industriales

---

---

---

---

Sistema Original

---

---

M1	40.000000	220.000000	COMPRESOR	40.000000	10.000000	THWN
M2	40.000000	220.000000	COMPRESOR	40.000000	15.000000	THWN
M3	50.000000	220.000000	MOLINO	40.000000	10.000000	THWN
M4	50.000000	220.000000	MOLINO	40.000000	8.000000	THWN
M5	25.000000	220.000000	BOMBA	40.000000	10.000000	THWN
M6	15.000000	220.000000	BOMBA	40.000000	10.000000	THWN
M7	20.000000	220.000000	BOMBA	40.000000	10.000000	THWN
M8	15.000000	220.000000	BOMBA	40.000000	10.000000	THWN
M9	10.000000	220.000000	CRIBA	40.000000	10.000000	THWN

---

---

---

---

Calibre de los conductores

---

---

M1	1/0	THWN
M2	1/0	THWN
M3	2/0	THWN
M4	2/0	THWN
M5	3	THWN
M6	6	THWN
M7	4	THWN
M8	6	THWN
M9	8	THWN

---

---

---

---

Regulación de Voltaje

---

---

M1	0.185296
M2	0.277944
M3	0.183385
M4	0.14670
M5	0.242015
M6	0.300684
M7	0.240728
M8	0.300684
M9	0.315091

---

---

---

---

Transformador

---

---

Potencia del transformador = 300.000000 KVA

---

---

---

---

Protecciones por motor

---

---

Motor 1 Protección calculada 163.50000 Protección sugerida 175.000000  
Motor 2 Protección calculada 163.50000 Protección sugerida 175.000000  
Motor 3 Protección calculada 204.00000 Protección sugerida 225.000000  
Motor 4 Protección calculada 204.00000 Protección sugerida 225.000000  
Motor 5 Protección calculada 106.50000 Protección sugerida 110.000000  
Motor 6 Protección calculada 66.000000 Protección sugerida 70.000000  
Motor 7 Protección calculada 84.000000 Protección sugerida 90.000000  
Motor 8 Protección calculada 66.000000 Protección sugerida 70.000000  
Motor 9 Protección calculada 43.500000 Protección sugerida 45.000000

---

---

---

---

Protecciones por alimentador

---

---

Alimentador 1 Protección sugerida 700.000000  
Alimentador 2 Protección sugerida 400.000000

---

---

---

---

Calibre por alimentador

---

---

Alimentador 1 Calibre sugerido 1000  
Alimentador 2 Calibre sugerido 300

---

---

### 5.1.9 Comparación de resultados

En la Tabla 5.11 se realiza una comparación de los resultados obtenidos en los cálculos con los del simulador.

**Tabla 5.11** Comparación de resultados

	<b>CALCULADO</b>	<b>SIMULADOR</b>	<b>CALCULADO</b>	<b>SIMULADOR</b>	<b>CALCULADO</b>	<b>SIMULADOR</b>
<b>MOTOR</b>	<b>CALIBRE DE CONDUCTOR</b>	<b>CALIBRE DE CONDUCTOR</b>	<b>REGULACION DE VOLTAJE</b>	<b>REGULACION DE VOLTAJE</b>	<b>PROTECCION DE MOTORES</b>	<b>PROTECCION DE MOTORES</b>
M1	1/0 MCM	1/0 MCM	0.1853	0.18529631	175amp	175amp
M2	1/0 MCM	1/0 MCM	0.2779	0.27794447	175amp	175amp
M3	2/0 MCM	2/0 MCM	0.1834	0.18338505	225amp	225amp
M4	2/0 MCM	2/0 MCM	0.1467	0.14670804	225amp	225amp
M5	3 AWG	3 AWG	0.2420	0.2420152	110amp	110amp
M6	6 AWG	6 AWG	0.3007	0.30068406	70amp	70amp
M7	4 AWG	4 AWG	0.2407	0.24072769	90amp	90amp
M8	6 AWG	6 AWG	0.3007	0.30068406	70 amp	70 amp
M9	8 AWG	8 AWG	0.3151	0.31509067	45amp	45amp

Transformador determinado por los cálculos= 300 KVA

Transformador determinado por el simulador= 300 KVA

Calibre y protección de los alimentadores calculados:

Alimentador 1= 1000 MCM                      Protección= 700 A.

Alimentador 2= 300 MCM                      Protección= 400 A.

Calibre de los alimentadores determinados por el simulador:

Alimentador 1= 1000 MCM                      Protección= 700 A.

Alimentador 2= 300 MCM                      Protección= 400 A.

Como se puede observar, al igual que en el caso anterior los resultados son similares, por lo que podemos constatar que el desempeño del simulador para casos con varios motores y de alta potencia es correcto.

### 5.3 CASO 3

Ahora se tiene un sistema con 9 motores distribuidos como lo muestra a continuación la Figura 5.3:

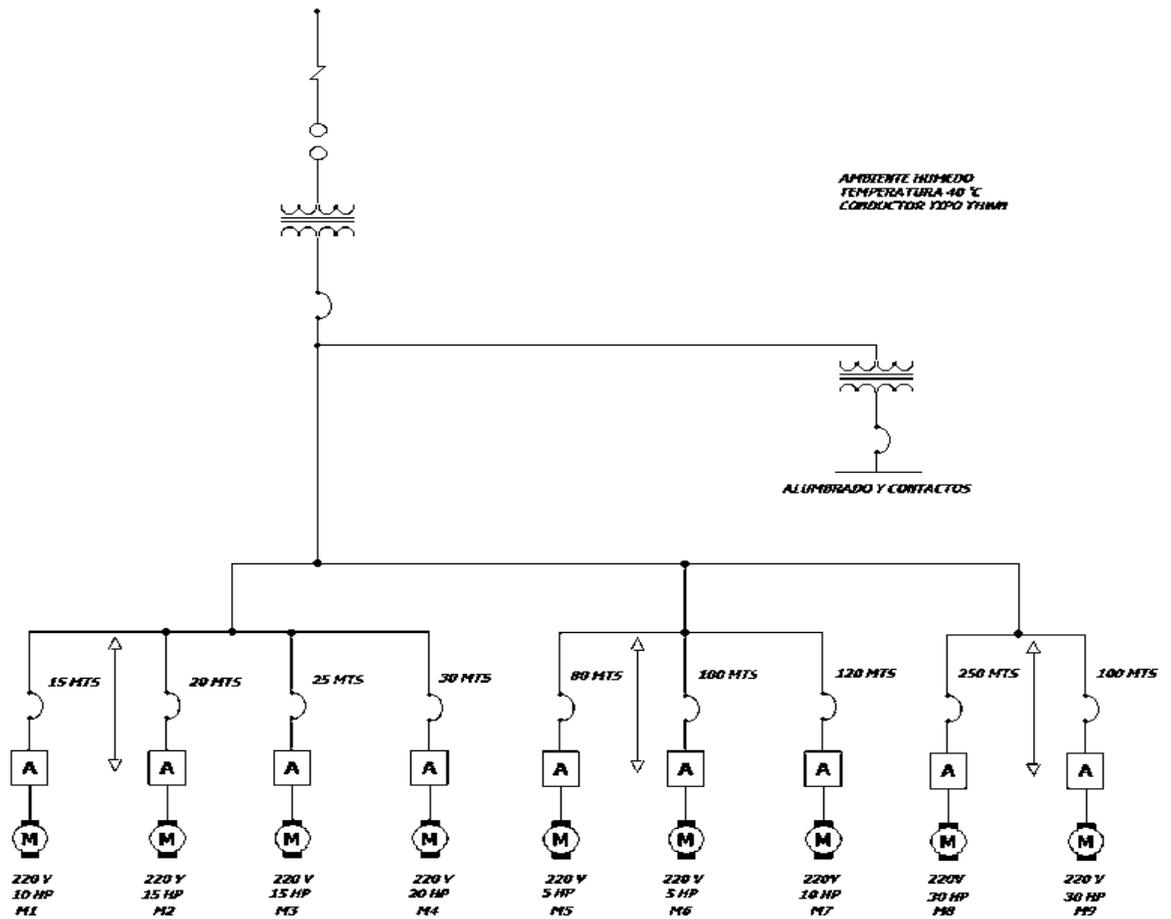


Figura 5.3 Circuito del caso3.

Los datos del sistema son los siguientes:

- Voltaje del sistema= 220V
- Temperatura de funcionamiento= 40°
- Factor de potencia= 0.85

### 5.3.1 Determinación de la corriente de plena carga de cada motor

En la Tabla 5.12 se observa la corriente a plena carga de cada uno de los motores tomando como base su potencia:

**Tabla 5.12** corriente a plena carga

<b>MOTOR</b>	<b>POTENCIA DEL MOTOR (Hp)</b>	<b>CORRIENTE A PLENA CARGA (Amp)</b>
M1	10	29
M2	15	44
M3	15	44
M4	20	56
M5	5	15.9
M6	5	15.9
M7	10	29
M8	30	84
M9	30	84

### 5.3.2 Determinación del calibre de conductor

En la Tabla 5.13 se muestra el calibre de conductor que se usara para alimentar cada uno de los motores del sistema:

**Tabla 5.13** Calibre de conductor para cada motor

<b>MOTOR</b>	<b>I PLENA CARGA X (125%) (Amp)</b>	<b>CALIBRE DE CONDUCTOR</b>
M1	$1.25 \times 29 = 36.25$	<b>8 AWG</b>
M2	$1.25 \times 44 = 55$	<b>6 AWG</b>
M3	$1.25 \times 44 = 55$	<b>6 AWG</b>
M4	$1.25 \times 56 = 70$	<b>4 AWG</b>
M5	$1.25 \times 15.9 = 19.87$	<b>12 AWG</b>
M6	$1.25 \times 15.9 = 19.87$	<b>12 AWG</b>
M7	$1.25 \times 29 = 36.25$	<b>8 AWG</b>
M8	$1.25 \times 84 = 105$	<b>2 AWG</b>
M9	$1.25 \times 84 = 105$	<b>2 AWG</b>

### 5.3.3 Cálculo de la caída de tensión

En la Tabla 5.14 se muestra la caída de tensión de cada motor:

**Tabla 5.14** Caída de tensión en los motores

<b>Motor</b>	<b>Hp</b>	<b>Amperes</b>	<b>Dimension</b>	<b>L</b>	<b>Calibre</b>	<b>S</b>	<b>E%</b>
M1	10	29	36.25	15	8 AWG	8.367	<b>0.47263601</b>
M2	15	44	55	20	6 AWG	13.303	<b>0.60136811</b>
M3	15	44	55	25	6 AWG	13.303	<b>0.75171014</b>
M4	20	56	70	30	4 AWG	21.148	<b>0.72218306</b>
M5	5	15.9	19.875	20	12 AWG	3.309	<b>0.87365038</b>
M6	5	15.9	19.875	100	12 AWG	3.309	<b>4.36825188</b>
M7	10	29	36.25	120	8 AWG	8.367	<b>3.78108804</b>
M8	30	84	105	250	2 AWG	33.632	<b>5.67641208</b>
M9	30	84	105	100	2 AWG	33.632	<b>2.27056483</b>

### 5.3.4 Cálculo de protecciones para los motores

De la Tabla 3.4 para motores trifásicos y fusibles sin retardo de tiempo se toma el 150% de la corriente nominal del motor, en la Tabla 5.15 se determinan:

**Tabla 5.15** Protección de motores

<b>MOTOR</b>	<b>I PLENA CARGA X (150%) (Amp)</b>	<b>PROTECCION PROPUESTA (Amp)</b>
M1	$1.5 \times 29 = 43.5$	<b>50</b>
M2	$1.5 \times 44 = 66$	<b>70</b>
M3	$1.5 \times 44 = 66$	<b>70</b>
M4	$1.5 \times 56 = 84$	<b>100</b>
M5	$1.5 \times 15.9 = 23.85$	<b>30</b>
M6	$1.5 \times 15.9 = 23.85$	<b>30</b>
M7	$1.5 \times 29 = 43.5$	<b>50</b>
M8	$1.5 \times 84 = 125$	<b>130</b>
M9	$1.5 \times 84 = 125$	<b>130</b>

### 5.3.5 Cálculo de la capacidad del transformador

Suma de las cargas del sistema:

$$Hp_{TOTAL} = (10 + 15 + 15 + 20 + 20 + 5 + 5 + 10 + 30 + 30) = 140Hp$$

Conversión de Hp a kwatts:

$$kW = \frac{(140Hp) \times (746)}{1000} = 104.44kW$$

Considerando un factor de potencia (F.P) de 0.85, se determina la capacidad del transformador:

$$kW = \frac{(104.44kW)}{0.85} = 122.87kVA$$

Si se considera una reserva para el transformador del 20% se tiene:

$$\text{Capacidad del Transformador} = (122.87kVA) \times (1.2) = 147.444kVA$$

Según los valores comerciales se instalara un transformador de **150 KVA**

### 5.3.6 Cálculo de alimentadores

De acuerdo con el procedimiento para el cálculo del calibre del conductor del alimentador:

$$I = 1.25 \times (I_{MOTOR\_MAYOR}) + \sum (I_{MOTORES\_RESTANTES})$$

Para el alimentador 1:

$$I = 1.25 \times (56) + (44 + 44 + 29 + 15.9) = 201A$$

Se propone un conductor THWN de cobre a usar es de **4/0 MCM**.

Para el alimentador 2:

$$I = 1.25 \times (29) + (15.9 + 15.9) = 75.3A$$

De acuerdo a la Tabla 1.6 el conductor THWN de cobre a usar es de **4 AWG**.

Para el alimentador 3:

$$I = 1.25 \times (84) + (84) = 210AMP$$

Se propone conductor THWN de cobre a usar es de **4/0 MCM**

### **5.3.7 Protección para alimentadores**

Para un alimentador se toma 2.5 veces de la corriente nominal:

$$I = 2.5 \times (I_{MOTOR\_MAYOR}) + \sum (I_{MOTORES\_RESTANTES})$$

Para el alimentador 1:

$$I = 2.5 \times (56) + (44 + 44 + 29 + 15.9) = 201A$$

La protección propuesta es de **270 A**.

Para el alimentador 2:

$$I = 2.5 \times (29) + (15.9 + 15.9) = 104.3A$$

La protección propuesta es de **120 A**

Para el alimentador 3:

$$I = 2.5 \times (84) + (84) = 294A$$

La protección a usar será de **300 A**

### 5.3.8 Resultados del simulador

A continuación se muestran los resultados que arroja el simulador en este caso:

Sistema de Análisis para Sistemas Eléctricos Industriales

---

---

Sistema Original						
M1	10	220	BOMBA	40	15	THWN
M2	15	220	CRIBA	40	20	THWN
M3	15	220	BOMBA	40	25	THWN
M4	20	220	MOLINO	40	30	THWN
M5	5	220	BOMBA	40	20	THWN
M6	5	220	BOMBA	40	100	THWN
M7	10	220	BOMBA	40	120	THWN
M8	30	220	MOLINO	40	250	THWN
M9	30	220	MOLINO	40	100	THWN

---

---

Calibre de los conductores		
M1	8	THWN
M2	6	THWN
M3	6	THWN
M4	4	THWN
M5	12	THWN
M6	12	THWN
M7	8	THWN
M8	2	THWN
M9	2	THWN

---

---

Regulación de Voltaje	
M1	0.47263601
M2	0.60136811
M3	0.75171014
M4	0.72218306
M5	0.87365038
M6	4.36825188
M7	3.78108804
M8	5.67641208
M9	2.27056483

---

---

Transformador	
Potencia del transformador = 150.000000 KVA	

---

---

Protecciones por motor

---

---

Motor 1 Protección calculada 43.500000 Protección sugerida 45.000000  
Motor 2 Protección calculada 66.000000 Protección sugerida 70.000000  
Motor 3 Protección calculada 66.000000 Protección sugerida 70.000000  
Motor 4 Protección calculada 84.000000 Protección sugerida 90.000000  
Motor 5 Protección calculada 23.850000 Protección sugerida 25.000000  
Motor 6 Protección calculada 23.850000 Protección sugerida 25.000000  
Motor 7 Protección calculada 43.500000 Protección sugerida 45.000000  
Motor 8 Protección calculada 126.000000 Protección sugerida 150.000000  
Motor 9 Protección calculada 126.000000 Protección sugerida 150.000000

---

---

Protecciones por alimentador

---

---

Alimentador 1 Protección sugerida 300.000000  
Alimentador 2 Protección sugerida 110.000000  
Alimentador 3 Protección sugerida 300.000000

---

---

Calibre por alimentador

---

---

Alimentador 1 Calibre sugerido 3/0  
Alimentador 2 Calibre sugerido 4  
Alimentador 3 Calibre sugerido 3/0

---

---

### 5.3.9 Comparación de resultados

En la Tabla 5.16 se puede apreciar la comparación de los resultados en este caso.

**Tabla 5.16** Comparación de resultados

	<b>CALCULADO</b>	<b>SIMULADOR</b>	<b>CALCULADO</b>	<b>SIMULADOR</b>
<b>MOTOR</b>	<b>CALIBRE DE CONDUCTOR</b>	<b>CALIBRE DE CONDUCTOR</b>	<b>REGULACION DE VOLTAJE</b>	<b>REGULACION DE VOLTAJE</b>
M1	8 AWG	8 AWG	0.4726	0.47263601
M2	6 AWG	6 AWG	0.6014	0.60136811
M3	6 AWG	6 AWG	0.7517	0.75171014
M4	4 AWG	4 AWG	0.7222	0.72218306
M5	12 AWG	12 AWG	0.8737	0.87365038
M6	12 AWG	12 AWG	4.3683	4.36825188
M7	8 AWG	8 AWG	3.7811	3.78108804
M8	2 AWG	2 AWG	5.6764	5.67641208
M9	2 AWG	2 AWG	2.2706	2.27056483

Transformador determinado por los cálculos= 150 KVA

Transformador determinado por el simulador= 150 KVA

En este caso se presentó una industria con varios motores de baja potencia y como se pudo apreciar el funcionamiento del simulador fue el correcto tomando como referencia los cálculos realizados.

#### **5.4 CASO 4**

El siguiente caso a presentar es un caso real con valores ya determinados los cuales se compararan con los que arroje el simulador para comprobar su buen funcionamiento:

##### **5.4.1 Datos de la instalación industrial**

- Factor de potencia= 0.85
- Capacidad del transformador= 300 KVA
- Temperatura de funcionamiento= 75°

En la Tabla 5.17 se muestran los valores de cada uno de los elementos de la industria, en la Figura 5.4 se muestra el circuito del sistema.

**Tabla 5.17** Datos de la industria del caso 3

Motor	Hp	Voltaje	Amperes	X 1.25	Calibre	S	L	E%	Protección
M1	30	440	42	52.5	6 AWG	13.303	25	0.35877075	70amp
M2	30	440	42	52.5	6 AWG	13.303	30	0.4305249	70amp
M3	30	440	42	52.5	6 AWG	13.303	35	0.50227905	70amp
M4	30	440	42	52.5	6AWG	13.303	40	0.5740332	70amp
M5	7.5	440	11	13.75	14 AWG	2.081	45	1.08121096	20amp
M6	7.5	440	11	13.75	14 AWG	2.081	50	1.20134551	20amp
M7	10	440	15	18.75	12 AWG	8.367	45	0.36670035	25amp
M8	10	440	15	18.75	12 AWG	33.632	40	0.0810916	25amp
M9	30	440	42	52.5	6 AWG	33.632	35	0.19867442	70amp
M10	3	440	5	6.25	14 AWG	2.081	30	0.32763968	15amp
M11	3	440	5	6.25	14 AWG	2.081	25	0.27303307	15amp
M12	3	440	5	6.25	14 AWG	2.081	30	0.32763968	15amp
M13	3	440	5	6.25	14 AWG	2.081	35	0.3822463	15amp
M14	3	440	5	6.25	14 AWG	2.081	40	0.43685291	15amp
M15	2	440	3.6	4.5	14 AWG	2.081	45	0.35385086	15amp
M16	2	440	3.6	4.5	14 AWG	2.081	50	0.39316762	15amp
M17	2	440	3.6	4.5	14 AWG	2.081	45	0.35385086	15amp
M18	7	220	21.58	26.975	10 AWG	5.261	40	1.49159337	35amp
M19	2	220	7.1	8.875	14 AWG	2.081	35	1.08557949	15amp
M20	2	220	7.1	8.875	14 AWG	2.081	30	0.9304967	15amp
M21	1	220	3.8	4.75	14 AWG	2.081	25	0.41501027	15amp
M22	0.25	110	1.5	1.875	14 AWG	2.081	30	0.39316762	15amp

A continuación se muestra en la figura 5.4 el diagrama unifilar de la industria:

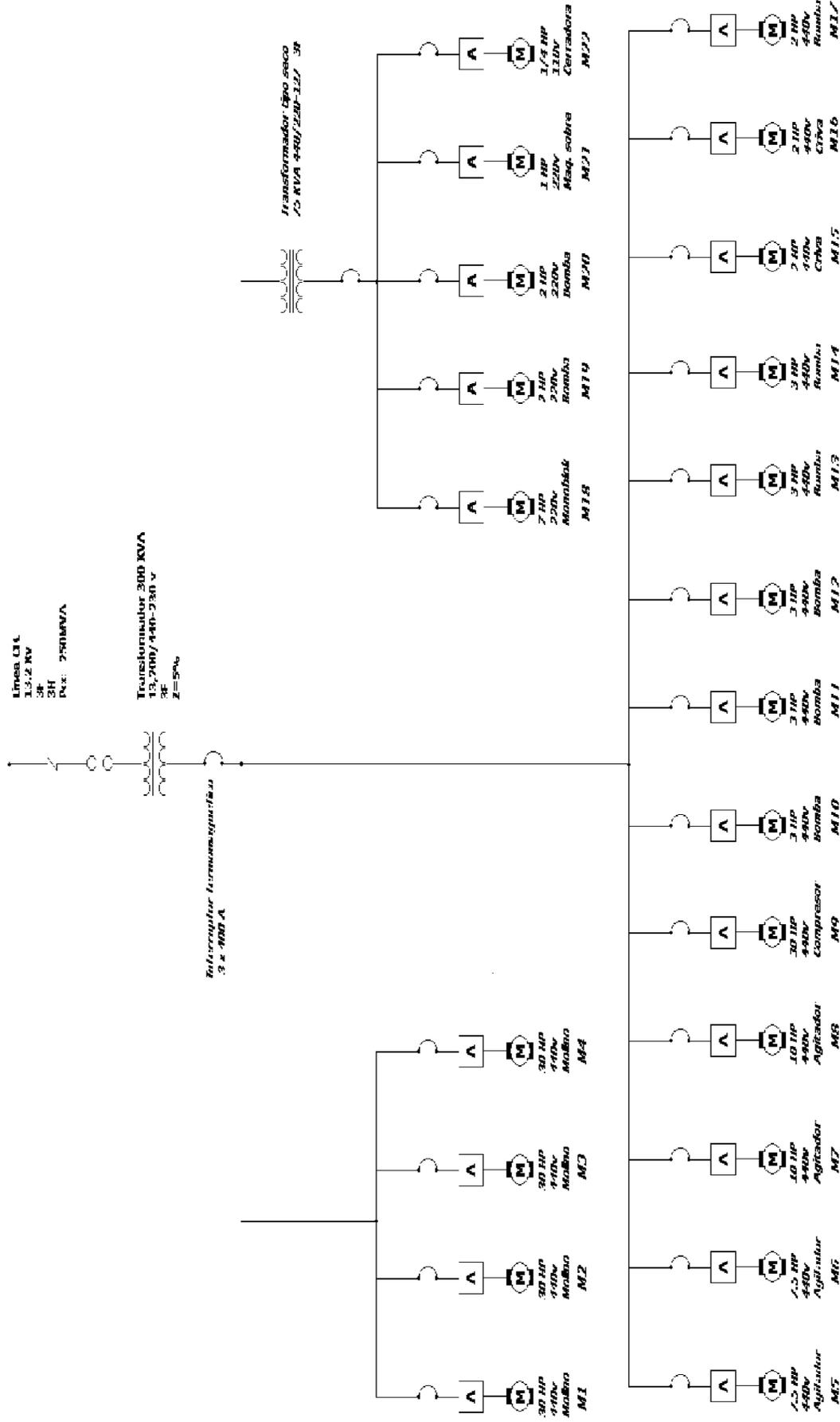


Figura 5.4 Circuito industrial caso 4

## 5.4.2 Resultados del simulador

A continuación se muestran los resultados arrojados por el simulador:

---



---

Sistema de Análisis para Sistemas Eléctricos Industriales

---



---

Sistema Original

---

M1	30.000000	440.000000	MOLINO	75.000000	25.000000	THWN
M2	30.000000	440.000000	MOLINO	75.000000	30.000000	THWN
M3	30.000000	440.000000	MOLINO	75.000000	35.000000	THWN
M4	30.000000	440.000000	MOLINO	75.000000	40.000000	THWN
M5	7.500000	440.000000	AGITADOR	75.000000	45.000000	THWN
M6	7.500000	440.000000	AGITADOR	75.000000	50.000000	THWN
M7	10.000000	440.000000	AGITADOR	75.000000	45.000000	THWN
M8	10.000000	440.000000	AGITADOR	75.000000	40.000000	THWN
M9	30.000000	440.000000	COMPRESOR	75.000000	35.000000	THWN
M10	3.000000	440.000000	BOMBA	75.000000	30.000000	THWN
M11	3.000000	440.000000	BOMBA	75.000000	25.000000	THWN
M12	3.000000	440.000000	BOMBA	75.000000	30.000000	THWN
M13	3.000000	440.000000	BOMBA	75.000000	35.000000	THWN
M14	3.000000	440.000000	BOMBA	75.000000	40.000000	THWN
M15	2.000000	440.000000	CRIBA	75.000000	45.000000	THWN
M16	2.000000	440.000000	CRIBA	75.000000	50.000000	THWN
M17	2.000000	440.000000	BOMBA	75.000000	45.000000	THWN
M18	7.000000	220.000000	MONOBLOK	75.000000	40.000000	THWN
M19	2.000000	220.000000	BOMBA	75.000000	35.000000	THWN
M20	2.000000	220.000000	BOMBA	75.000000	30.000000	THWN
M21	1.000000	220.000000	MAQUINA	75.000000	25.000000	THWN
M22	0.250000	110.000000	CERRADORA	75.000000	30.000000	THWN

---



---

Calibre de los conductores

M1	6	THWN
M2	6	THWN
M3	6	THWN
M4	6	THWN
M5	14	THWN
M6	14	THWN
M7	12	THWN
M8	12	THWN
M9	6	THWN
M10	14	THWN
M11	14	THWN
M12	14	THWN
M13	14	THWN
M14	14	THWN
M15	14	THWN
M16	14	THWN
M17	14	THWN
M18	10	THWN
M19	14	THWN
M20	14	THWN
M21	14	THWN
M22	14	THWN

---



---

## Regulación de Voltaje

---

---

M1	0.358771
M2	0.430525
M3	0.502279
M4	0.574033
M5	1.081211
M6	1.201345
M7	0.927223
M8	0.824198
M9	0.502279
M10	0.327640
M11	0.273033
M12	0.327640
M13	0.382246
M14	0.436853
M15	0.353851
M16	0.393168
M17	0.353851
M18	1.491593
M19	1.085579
M20	0.930497
M21	0.415010
M22	0.996025

---

---

### Transformador

---

---

Potencia del transformador = 300.000000 KVA

---

---

### Protecciones por motor

---

---

Motor 1	Protección calculada 63.000000	Protección sugerida 70.000000
Motor 2	Protección calculada 63.000000	Protección sugerida 70.000000
Motor 3	Protección calculada 63.000000	Protección sugerida 70.000000
Motor 4	Protección calculada 63.000000	Protección sugerida 70.000000
Motor 5	Protección calculada 16.500000	Protección sugerida 20.000000
Motor 6	Protección calculada 16.500000	Protección sugerida 20.000000
Motor 7	Protección calculada 22.500000	Protección sugerida 25.000000
Motor 8	Protección calculada 22.500000	Protección sugerida 25.000000
Motor 9	Protección calculada 63.000000	Protección sugerida 70.000000
Motor 10	Protección calculada 7.500000	Protección sugerida 10.000000
Motor 11	Protección calculada 7.500000	Protección sugerida 10.000000
Motor 12	Protección calculada 7.500000	Protección sugerida 10.000000
Motor 13	Protección calculada 7.500000	Protección sugerida 10.000000
Motor 14	Protección calculada 7.500000	Protección sugerida 10.000000
Motor 15	Protección calculada 5.400000	Protección sugerida 10.000000
Motor 16	Protección calculada 5.400000	Protección sugerida 10.000000
Motor 17	Protección calculada 5.400000	Protección sugerida 10.000000
Motor 18	Protección calculada 32.369999	Protección sugerida 35.000000
Motor 19	Protección calculada 10.650000	Protección sugerida 10.000000
Motor 20	Protección calculada 10.650000	Protección sugerida 10.000000
Motor 21	Protección calculada 5.700000	Protección sugerida 10.000000
Motor 22	Protección calculada 5.700000	Protección sugerida 10.000000

---

---

### Protecciones por alimentador

---

---

Alimentador 1	Protección sugerida 250.000000
Alimentador 2	Protección sugerida 200.000000
Alimentador 3	Protección sugerida 80.000000

---

---

### Calibre por alimentador

---

---

Alimentador 1	Calibre sugerido 3/0
Alimentador 2	Calibre sugerido 1/0
Alimentador 3	Calibre sugerido 6

---

---

### 5.4.3 Comparación de resultados

En la Tabla 5.18 se muestra la comparación de los resultados del simulador con los de la industria:

**Tabla 5.18** Comparación de resultados

	<b>CALCULADO</b>	<b>SIMULADOR</b>	<b>CALCULADO</b>	<b>SIMULADOR</b>	<b>CALCULADO</b>	<b>SIMULADOR</b>
<b>MOTOR</b>	<b>CALIBRE DE CONDUCTOR</b>	<b>CALIBRE DE CONDUCTOR</b>	<b>REGULACION DE VOLTAJE</b>	<b>REGULACION DE VOLTAJE</b>	<b>PROTECCION DEL MOTOR</b>	<b>PROTECCION DEL MOTOR</b>
M1	8 AWG	8 AWG	0.3588	0.35877075	70amp	70amp
M2	8 AWG	8 AWG	0.431	0.4305249	70amp	70amp
M3	8 AWG	8 AWG	0.5023	0.50227905	70amp	70amp
M4	8 AWG	8 AWG	0.5740	0.5740332	70amp	70amp
M5	12 AWG	12 AWG	1.0812	1.08121096	20amp	20amp
M6	12 AWG	12 AWG	1.2013	1.20134551	20amp	20amp
M7	8 AWG	8 AWG	0.3667	0.36670035	25amp	25amp
M8	8 AWG	8 AWG	0.0811	0.0810916	25amp	25amp
M9	8 AWG	8 AWG	0.1987	0.19867442	70amp	70amp
M10	12 AWG	12 AWG	0.3276	0.32763968	15amp	15amp
M11	12 AWG	12 AWG	0.2730	0.27303307	15amp	15amp
M12	12 AWG	12 AWG	0.3276	0.32763968	15amp	15amp
M13	12 AWG	12 AWG	0.3822	0.3822463	15amp	15amp
M14	12 AWG	12 AWG	0.4369	0.43685291	15amp	15amp
M15	12 AWG	12 AWG	0.3539	0.35385086	15amp	15amp
M16	12 AWG	12 AWG	0.3932	0.39316762	15amp	15amp
M17	14 AWG	14 AWG	0.3539	0.35385086	15amp	15amp
M18	8 AWG	8 AWG	1.4916	1.49159337	35amp	35amp
M19	12 AWG	12 AWG	1.0856	1.08557949	15amp	15amp
M20	12 AWG	12 AWG	0.9305	0.9304967	15amp	15amp
M21	12 AWG	12 AWG	0.4150	0.41501027	15amp	15amp
M22	12 AWG	12 AWG	0.3932	0.39316762	15amp	15amp

Transformador determinado por los cálculos= 300 KVA

Transformador determinado por el simulador= 300 KVA

En este caso el simulador arrojo valores iguales a los que está utilizando el sistema industrial, con lo que se puede constatar que el funcionamiento del simulador es el adecuado.

## **CAPITULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

#### **6.1 CONCLUSIONES**

Se ha mostrado el diseño y aplicación de un simulador digital para análisis de sistemas eléctricos industriales. El simulador diseñado e implementado ha demostrado su capacidad para determinar los parámetros de una instalación eléctrica industrial en función a las características de los motores a ser instalados.

Los parámetros calculados por el sistema desarrollado e implementado han sido comparados contra los parámetros calculados de manera manual y se ha demostrado la validez de los parámetros calculados.

Los parámetros calculados cumplen de manera cabal con la NOM-SE-2005 para instalaciones eléctricas. En este trabajo de tesis se ha mostrado una aplicación de la programación de computadoras al análisis de sistemas eléctricos industriales.

Al contar con una herramienta como esta, se puede usar como punto de partida para una buena planeación de un proyecto, y pueda ejecutar de manera satisfactoria y siempre apegado a un marco legal.

#### **6.2 TRABAJOS FUTUROS**

Como un trabajo futuro se piensa incorporar el análisis de corto circuito para la instalación eléctrica. Adicionalmente en un trabajo futuro se puede diseñar una interfaz gráfica que permita la introducción del sistema a ser analizado por medio de una pantalla gráfica en dónde los elementos sean introducidos como íconos.

## **Bibliografía**

[Félix calderón Solorio, 2003]

Dr. Félix calderón Solorio, Programacion de computadoras,  
Pre-Edición.

[Gilberto Enríquez Harper 2000]

Gilberto Enríquez Harper, El ABC de las instalaciones eléctricas industriales,  
Limusa, 2000, pre-edición.

[Gilberto Enríquez Harper, 2004]

Gilberto Enríquez Harper, Guía practica para el estudio de las instalaciones  
eléctricas, Limusa, 2004, Tercera edición.

[J. Duncan Glover Mulukutla S. Sarma 2004]

J. Duncan Glover Mulukutla S. Sarma, Sistemas de Potencia Análisis y Diseño,  
Thomson, 2004, Cuarta Edición.

[N. Bratu, E. Campero 2002]

N. Bratu E. Campero, Instalaciones eléctricas, conceptos básicos y diseño,  
Alfa-Omega, 2002, Segunda edición.

[Mark W. Earley, 2005]

Mark W. Earley, National electrical code handbook,  
National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2005, Tenth edition.

[Secretaria de energía, 2005]

Secretaria de energía, NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005,  
Tercera edición.

## ANEXOS

### Capacidad de conducción de corriente de los conductores aislados

TABLA 310-17.- Capacidad de conducción de corriente (A) permisible para cables monoconductores aislados de 0 a 2 000 V nominales, al aire libre y a temperatura ambiente de 30 °C

Tamaño o Designación		Temperatura nominal del conductor (ver tabla 310-13)					
mm <sup>2</sup>	AWG o kcmil	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
		TIPOS TW*	TIPOS RHW*, THHW*, THW*, THW-LS*, THWN*, XHHW*, USE	TIPOS MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THW-LS*, THWN-2*, XHHW*, XHHW-2, USE-2 FEP*, FEPB*	TIPOS UF	TIPOS RHW*, XHHW*	TIPOS RHH*, RHW-2, XHHW*, XHHW-2
		Cobre			Aluminio		
0,824	18	....	—	18	....	....	....
1,31	16	....	—	24	....	....	....
2,08	14	25*	30*	35*	....	....	....
3,31	12	30*	35*	40*	—	—	—
5,26	10	40	50*	55*	—	—	—
8,37	8	60	70	80	—	—	—
13,3	6	80	95	105	60	75	80
21,2	4	105	125	140	80	100	110
26,7	3	120	145	165	95	115	130
33,6	2	140	170	190	110	135	150
42,4	1	165	195	220	130	155	175
53,5	1/0	195	230	260	150	180	205
67,4	2/0	225	265	300	175	210	235
85,0	3/0	260	310	350	200	240	275
107	4/0	300	360	405	235	280	315
127	250	340	405	455	265	315	355
152	300	375	445	505	290	350	395
177	350	420	505	570	330	395	445
203	400	455	545	615	355	425	480
253	500	515	620	700	405	485	545
304	600	575	690	780	455	540	615
355	700	630	755	855	500	595	675
380	750	655	785	885	515	620	700
405	800	680	815	920	535	645	725
456	900	730	870	985	580	700	785
507	1 000	780	935	1 055	625	750	845
633	1 250	890	1 065	1 200	710	855	960
760	1 500	980	1 175	1 325	795	950	1 075
887	1 750	1 070	1 280	1 445	875	1 050	1 185
1 010	2 000	1 155	1 385	1 560	960	1 150	1 335
FACTORES DE CORRECCION							
Temperatura ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30 °C, multiplicar la anterior capacidad de conducción de corriente por el correspondiente factor de los siguientes.						
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	1,04
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	0,96
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	0,91

## Corriente a plena carga de los motores trifásicos de C.A.

**Tabla 430-150.- Corriente eléctrica a plena carga de motores trifásicos de c.a.**

Los siguientes valores de corriente eléctrica a plena carga son típicos para motores que funcionen a velocidades normales para transmisión por banda y con características de par también normales. Los motores de velocidad especialmente baja o de alto par pueden requerir corrientes a plena carga mayores, y los de velocidades múltiples deben tener una corriente a plena carga que varía con la velocidad; en estos casos debe usarse la corriente a plena carga indicada en la placa de datos. Las tensiones eléctricas listadas son nominales de motores. Las corrientes listadas deben usarse para sistemas de tensiones eléctricas nominales de 110 V hasta 120 V, 220 V hasta 240 V, 440 V hasta 480 V y 550 V hasta 600 V.

Lunes 13 de marzo de 2006

DIARIO OFICIAL

347

kW	CP	Motor de inducción Jaula de ardilla y rotor devanado, en amperes (A)							Motor sincrónico, con factor de potencia unitario, en amperes (A)				
		V							230	460	575	2 300	
		115	200	208	230	460	575	2 300					
0,37	1/2	4,4	2,5	2,4	2,2	1,1	0,9						
0,56	3/4	6,4	3,7	3,5	3,2	1,6	1,3						
0,75	1	8,4	4,8	4,6	4,2	2,1	1,7						
1,12	1-1/2	12,0	6,9	6,6	6,0	3,0	2,4						
1,50	2	13,6	7,8	7,5	6,8	3,4	2,7						
2,25	3		11,0	10,6	9,6	4,8	3,9						
3,75	5		17,5	16,7	15,2	7,6	6,1						
5,60	7-1/2		25,3	24,2	22	11	9						
7,46	10		32,2	30,8	28	14	11						
11,2	15		48,3	46,2	42	21	17						
14,9	20		62,1	59,4	54	27	22		53	26	21		
18,7	25		78,2	74,8	68	34	27						
22,4	30		92	88	80	40	32		63	32	26		
29,8	40		120	114	104	52	41		83	41	33		
37,3	50		150	143	130	65	52		104	52	42		
44,8	60		177	169	154	77	62	16	123	61	49	12	
56,0	75		221	211	192	96	77	20	155	78	62	15	
75,0	100		285	273	248	124	99	26	202	101	81	20	
93,0	125		359	343	312	156	125	31	253	126	101	25	
111,9	150		414	396	360	180	144	37	302	151	121	30	
149	200		552	528	480	240	192	49	400	201	161	40	
187	250					302	242	60					
224	300					361	289	72					
261	350					414	336	83					
298	400					477	382	95					
336	450					515	412	103					
373	500					590	472	118					

Para factor de potencia de 90% y 80%, las cantidades anteriores deben multiplicarse por 1,1 y 1,25, respectivamente.