UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TITULO DE TESIS:

AMPACIDAD DE LÍNEAS AÉREAS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Presentado por el Bachiller:
MANUEL MAMANI LEÓN
Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO ELECTRICISTA

AREQUIPA – PERU

2016

(Dedicatoria)

Dedico esta Tesis a mi madre: Primitiva Facunda León Lipe de Mamani y a la memoria de mi padre: Buenaventura Mamani Flores por el amor y el apoyo incondicional que llene de orgullo los pensamientos propios de mi familia y de alguna manera aportar en el maravilloso campo de la Ingeniería eléctrica.

(Pensamiento)

Hija mía no inicies una habilidad si no piensas en ser la mejor, en todo lo que te propongas nunca renuncies a la cumbre, si caes que sirva para llenarte de fuerzas en otra ocasión, pero nunca pierdas la confianza porque dios está contigo.

(Agradecimiento)

De mi mayor consideración para Los Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de San Agustín, por las enseñanzas y consejos que me encaminaron al continuo aprendizaje en el área de la investigación.

RESUMEN

Esta investigación está sujeta a determinar un valor numérico de suma importancia para la planificación de la cargabilidad de líneas AAAC de transmisión de potencia, además de expresar las ecuaciones que resuelvan el problema, detallaremos los factores y escenarios que se presenten en el transcurso, en resumen, todo gira en torno a la determinación de la corriente admisible de líneas aéreas con la única condición de que la temperatura del conductor no supere los valores recomendados por el fabricante.

Para cumplir con nuestro alcance se pretende emplear las teorías físicas relacionadas con el equilibrio térmico y conservación de energía; La matemática básica permitirá desarrollar los algoritmos que satisfaga la necesidad de un análisis en régimen permanente y transitorio, los resultados obtenidos podrán corroborarse con valores de ampacidad experimentales ofrecidos por distintos fabricantes bajo condiciones ambientales específicos.

Palabras Claves: Ampacidad, Temperatura, conductor, aluminio.

ABSTRACT

This research is subject to a numerical value critical to planning the chargeability of AAAC transmission lines power, and to express the equations to solve the problem, detail the factors and scenarios that arise in the course, in summary everything revolves around determining the permissible current airline with the only condition that the conductor temperature does not exceed the manufacturer's recommended values.

To meet our reach is to use physical theories related to thermal equilibrium and energy conservation; Deliver basic mathematical algorithms allow to satisfy the need for a permanent and transient analysis system, the results can be corroborated with experimental values ampacity offered by different manufacturers under specific environmental conditions.

Keywords: Ampacity, temperature, conductor, aluminum.

CONTENIDO

RESUMEN 6
ABSTRACT 7
LISTA DE ANEXOS 13
LISTA DE FIGURAS 14
LISTA DE TABLAS 15
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS 16
LISTA DE DEFINICIONES 18
CAPITULO I 20
1 INTRODUCCION 20
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 20
1.2 JUSTIFICACIÓN Y RELEVANCIA DEL ESTUDIO 21
1.3 OBJETIVOS 21
1.3.1 OBJETIVO GENERAL 21
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 22
1.4 HIPÓTESIS 22
1.4.1 HIPOTESIS GENERAL 22
1.5 VARIABLES 22
1.5.1 VARIABLES INDEPENDIENTES 22
1.5.2 VARIABLES DEPENDIENTES 23
1.6 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 23
1.7 ESTADO DEL ARTE 23
CAPITULO II 26
2 MARCO TEÓRICO 26
2.1 INTRODUCCIÓN 26
2.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR ORIGEN ELÉCTRICO 26
2.2.1 CALOR POR CORRIENTES DE FOUCAULT 26
2.2.2 CALOR POR EFECTO CORONA 28
2.2.3 CALOR POR EFECTO JOULE Y LEY DE OHM 29
2.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR ORIGEN FÍSICO 30
2.3.1 LEY DE LA CONDUCCIÓN 30
2.3.2 LEY DE ENFRIAMIENTO POR CONVECCIÓN 32

2.3.3 LEY DE STEFAN 34
2.4 POTENCIA MAXIMA DE UNA LINEA DE TRANSMISION 35
2.4.1 CIRCUITO EQUIVALENTE DE LINEA 35
2.4.2 PARAMETROS DE LINEA 37
2.4.3 POTENCIA MAXIMA DE UNA LINEA DE TRANSMISION 38
CAPITULO III 41
3 MODELAMIENTO PARA DETERMINAR LA AMPACIDAD DE LÍNEAS 41
3.1 ASPECTOS GENERALES 41
3.1.1 CONSIDERACIONES AMBIENTALES 41
3.1.2 CONSIDERACIONES DEL CONDUCTOR AAAC 42
3.2 MODELAMIENTO POR CORRIENTE TEMPERATURA 44
3.2.1 GENERACIÓN DE CALOR 46
3.2.2 GANANCIA DE CALOR 49
3.2.3 PERDIDAS DE CALOR 54
3.2.4 CORRIENTE-TEMPERATURA EN RÉGIMEN ESTABLE 62
3.3 MODELAMIENTO POR CORTO CIRCUITO 64
3.3.1 TIEMPO DE FALLA 64
3.3.2 CORRIENTE-TEMPERATURA EN RÉGIMEN TRANSITORIO 65
3.4 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO 68
3.4.1 BASES DE CÁLCULO 68
3.4.2 AMPACIDAD A CONDICIONES DE REFERENCIA 69
3.4.3 FACTIBILIDAD POR CORRIENTE DE FALLA 80
CAPITULO IV 82
4 MARCO METODOLOGICO Y COMPROBACION DE RESULTADOS 82
4.1 MARCO METODOLOGICO 82
4.2 COMPROBACION 83
4.2.1 COMPARACIÓN CON AMPACIDAD DEL CATALOGO 85
4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS 85
CAPITULO V 87
5 SIMULACIÓN EN MATLAB 87
5.1 PROGRAMACIÓN 87
5.2 INGRESO DE DATOS 88
5.3 RESULTADOS 89

CONCLUSIONES.....92
RECOMENDACIONES.....92
ANÁLISIS ECONÓMICO.....93
BIBLIOGRAFÍA.....94
ANEXOS.....95

DESCRIPCION DEL CONTENIDO

CAPITULO I

En este capítulo se dará la introducción al tema de Ampacidad de líneas eléctricas de transmisión de potencia, además de su definición, describiéremos los problemas que puede ocasionar la falta de un estudio de Ampacidad para conductores AAAC, continuaremos con los objetivos e hipótesis que delinean y moldean la investigación para posteriormente definir las variables independientes y dependientes pertenecientes a nuestros algoritmos aceptando además las delimitaciones del estudio.

CAPITULO II

En este capítulo se describirá inicialmente los tipos de energías que suman y restan temperatura en el conductor, estos factores deben su presencia por diferentes aspectos generados por la misma operación de la línea y por las condiciones medioambientales que lo rodea, estos agentes podrán ser agrupados por su naturaleza de su origen, ya sea por aportes físicos o generados por fenómenos eléctricos. En definitiva para resumir lo anterior se incluirá el calor generado por las corrientes de Foucault, calor generado por efecto Corona, Calor generado por efecto Joule, Transferencia de calor por ley de conducción, Transferencia de calor por ley de convección y transferencia de calor por ley de Stefan.

CAPITULO III

En el presente capitulo atenderemos el modelamiento de corriente-temperatura del conductor AAAC en régimen estable no sin antes definir los parámetros que intervienen tales como ganancias y pérdidas de calor por convección, incidencia solar, efecto joule y radiación solar. Una vez definido los algoritmos procederemos a describir el mejor procedimiento para obtener resultados de forma analítica y al mismo tiempo hacer las comparaciones y validaciones de estos por medio de catálogos que contengan datos experimentales de sus productos, de presentarse eventos de corto circuito se tiene previsto el análisis de la Ampacidad en régimen transitorio para conocer con certeza los tiempos de falla permitidos de tal forma que no se establezca defectos en el conductor

por elevaciones de temperatura. Finalmente se analizara los resultados para la toma de decisiones respecto al proyecto de transmisión que se tenga pensado.

CAPITULO IV

En este ítem trataremos de la metodología aplicada, la comprobación y un análisis de los resultados obtenidos siguiendo fielmente todo lo enunciado en el capítulo anterior.

CAPITULO V

Con ayuda de las herramientas computaciones podremos generar una programación en MATLAB pensando en el fácil ingreso de las variables que nos entregue rápidamente los resultados de Ampacidad correspondiente de una línea de transmisión instalada en una zona específica bajo las condiciones medioambientales que hayamos elegido, justamente aquí veremos la importancia de determinar la Ampacidad de una línea de transmisión y las consecuencias de sobrepasar los límites térmicos. Por ultimo analizaremos los resultados para desarrollar las conclusiones y recomendaciones.

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: ANEXO 1: HOJA DE DATOS DE CONDUCTORES AAAC “SURAL”

ANEXO 2: PROGRAMACIÓN EN M-FILE MATLAB R2013A.

ANEXO 3: AMPACIDAD PARA CONDUCTORES AAAC UBICADOS EN AREQUIPA.

Anexo 3.1. Ampacidad de conductor AAAC - 6 AWG - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.2. Ampacidad de conductor AAAC - 4 AWG - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.3. Ampacidad de conductor AAAC - 3 AWG - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.4. Ampacidad de conductor AAAC - 2 AWG - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.5. Ampacidad de conductor AAAC - 1 AWG - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.6. Ampacidad de conductor AAAC – 1/0 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.7. Ampacidad de conductor AAAC - 2/0 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.8. Ampacidad de conductor AAAC - 3/0 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.9. Ampacidad de conductor AAAC - 4/0 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.10. Ampacidad de conductor AAAC - 250 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.11. Ampacidad de conductor AAAC - 300 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.12. Ampacidad de conductor AAAC - 350 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.13. Ampacidad de conductor AAAC - 400 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.14. Ampacidad de conductor AAAC - 450 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.15. Ampacidad de conductor AAAC - 500 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.16. Ampacidad de conductor AAAC - 550 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.17. Ampacidad de conductor AAAC - 600 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.18. Ampacidad de conductor AAAC - 650 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.19. Ampacidad de conductor AAAC - 700 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.20. Ampacidad de conductor AAAC - 750 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.21. Ampacidad de conductor AAAC - 800 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.22. Ampacidad de conductor AAAC - 900 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.23. Ampacidad de conductor AAAC - 1000 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.24. Ampacidad de conductor AAAC - 1100 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.25. Ampacidad de conductor AAAC - 1200 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.26. Ampacidad de conductor AAAC - 1250 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.27. Ampacidad de conductor AAAC - 1300 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.28. Ampacidad de conductor AAAC - 1400 KCM - Ubicación: Arequipa.
Anexo 3.29. Ampacidad de conductor AAAC - 1500 KCM - Ubicación: Arequipa.

ANEXO 4: VALORES TIPICOS DE EMISIVIDAD Y ABSORTIVIDAD

ANEXO 5: CALCULO Y RECOMENDACIÓN DE TIEMPOS DE CORTO CIRCUITO

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.2.1. Fases de generación de corrientes de Foucault.

Figura 3.1.2. Conductores tipo ACSR y AAAC (Fuente: Catalogo CONAL).

Figura 3.2.1. Diferencia entre corriente DC y AC producto del efecto Piel.

Figura 2.4.1. Circuito equivalente de línea de transmisión.

Figura 2.4.3.a. Diagrama fasorial de potencia activa y reactiva.

Figura 2.4.3.b. Curva de potencia máxima de línea de transmisión.

Figura 4.1. Diagrama de flujo de desarrollo para la determinación de la Ampacidad.

Figura 5.3. Curva de Ampacidad de conductor AAAC de 750 KCM.

Figura 5.4. Demanda media respecto al tiempo (Fuente: Pagina web del COES)

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.2.2. Factor de relación de tensión de fase y tensión de umbral.

Tabla 2.3.1. Factores de conductividad térmica para sólidos, líquidos y gases.

Tabla 3.2.2.a. Constantes del polinomio para Atmosferas Limpias.

Tabla 3.2.2.b. Constantes del polinomio para Atmosferas industriales.

Tabla 3.2.2.c. Constantes de azimut solar.

Tabla 3.2.3. Coeficientes de Reynolds.

Tabla 5.3. Resultados de Ampacidad de conductor AAAC de 750 KCM.

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Símbolo	Termino	Unidad	Definición
r	Radio del conductor	*m*	-
V_{umb}	Tensión de umbral	*kV*	Ec. 01
P_c	Potencia perdida por efecto Corona	kw/km	Ec. 02
f	Frecuencia de operación	*Hz*	-
U_f	Tensión de fase en	*kV*	-
K_f	Factor de relación de tensión	-	U_f/U_0
DMG	Diámetro medio geométrico	*m*	-
U_0	Tensión de descarga de fase	*kV*	-
R	Resistencia	*Ω*	-
I	Corriente	*A*	Ec. 43
q_i	Calor por efecto Joule	*w/m*	Ec. 10
Q	Calor	*Joule*	Ec. 44
k	Factor de conductividad térmica	*w/m.℃*	Ec. 42
T_1	Temperatura en la superficie "1"	*℃*	-
T_2	Temperatura en la superficie "2"	*℃*	-
d	Distancia de separación	*m*	-
H	Coeficiente de transferencia de calor por convección	*w/m2.℃*	Ec. 06
A	Área superficial expuesta	*m2*	-
ΔE_{int}	Variación de energía interna	*Joule*	Ec. 01
W	Trabajo	*Joule*	-
E_{in}	Energía entrante	*Joule*	Ec. 09
E_{out}	Energía saliente	*Joule*	Ec. 01
R_f	Resistencia a temperatura final del conductor	*Ω/m*	Ec. 01
R_o	Resistencia a temperatura inicial del conductor	*Ω/m*	-
α_t	Coeficiente de temperatura de resistividad	*1/℃*	-
T_f	Temperatura final del conductor	*℃*	Ec. 11
T_o	Temperatura inicial del conductor	*℃*	-
$R(T_c)$	Resistencia del conductor	*Ω/m*	Ec. 12
$R(T_h)$	Resistencia a temperatura alta	*Ω/m*	-
$R(T_l)$:	Resistencia a temperatura baja	*Ω/m*	-
T_c	Temperatura seleccionada del conductor	*℃*	-
T_h	Temperatura alta del conductor	*℃*	-
T_l	Temperatura baja del conductor	*℃*	-
R_{ac}	Resistencia en corriente alterna (60Hz)	*Ω*	-
R_{ac}	Resistencia en corriente directa	*Ω*	Ec. 13
k_s	Coeficiente de efecto skin	-	1.0123
q_s	Calor por radiación positiva	*w/m*	Ec. 18
σ	Constante de Stefan	$w/m^2.K^4$	$5.6696 \text{ x } 10^{-8}$
e	Coeficiente de Emisividad	-	0.5
T	Temperatura	*℃*	-
α	Coeficiente de Absortividad	-	0.5
Q_{se}	Flujo de calor corregido	*w/m2*	Ec. 19
Θ	Ángulo efectivo de incidencia	°	Ec. 25

K_{solar}	Factor de corrección por altitud	-	Ec. 20
Q_s	Flujo de calor incidente a nivel del mar	*w/m2*	Ec. 21
H_e	Altitud sobre el nivel del mar	*m*	-
H_c	Altitud solar	°	Ec. 22
Lat	Latitud	°	-
δ	Declinación solar	°	Ec. 23
ω	Hora solar	°	Ec. 24
N	Día del año	-	0 a 365
h	Hora del día	-	0 a 24
Z_c	Azimut del sol	°	Ec. 26
χ	Tangente solar	-	Ec. 27
C	Constante de Azimut Solar	°	-
q_r	Calor por radiación negativa	*w/m*	Ec. 30
D	Diámetro del conductor	*m*	-
q_c	Transferencia de calor por convección	*w/m*	Ec. 35
Re	Numero de Reynolds	-	Ec. 37
C	Coeficiente de Reynolds	-	-
n	Coeficiente de Reynolds	-	-
Pr	Numero de Prandtl	-	Ec. 38
ρ	Densidad	*Kg/m3*	Ec. 40
v	Velocidad del fluido	*m/s*	-
u_f	Viscosidad del fluido	*Kg/m.s*	Ec. 41
c	Calor específico a presión constante del aire	*J/kg°C*	1010
P	Presión absoluta	*pa*	-
V	Volumen	*m3*	-
n	Numero de moles	*mol*	-
R	Constante universal de gases	*J/mol.K*	8.314
M	Masa molar	*Kg/mol*	-
m	Masa	*kg*	-
g	Gravedad	*m/s2*	9.78
h	Altura	*m*	-
P_f	Presión final	*pa*	-
P_0	Presión inicial	*pa*	101 325
h_f	Altura final	*m*	-
h_0	Altura inicial	*m*	-
T_{film}	Temperatura media	*°C*	-
c	Calor especifico del aluminio	*J/kg°C*	900
t	Tiempo	*s*	-
ΔT	Variación de temperatura	°	-
I_{cc}:	Corriente de corto circuito.	*A*	Ec. 46
T_{cc}	Temperatura de corto circuito	°	140
A	Sección del conductor	*mm2*	-

LISTA DE DEFINICIONES

- **Ampacidad:** Es la corriente máxima que puede circular por un conductor de manera constante sin que este sufra daños.
- **Potencia perdida por efecto Corona:** Potencia en watts perdida por ionización del aire.
- **Calor por convección:** Calor transmitido por medio de un fluido impulsado por el cambio de densidad (Convección natural) o por algún agente externo (Convección forzada)
- **Energía entrante:** Calor ganado por algún cuerpo expuesto.
- **Energía saliente:** Calor perdido por algún cuerpo expuesto.
- **Resistencia a temperatura final del conductor:** Resistencia del conductor cuando su temperatura alcanza el límite permitido por el fabricante.
- **Resistencia a temperatura inicial del conductor**: Resistencia del conductor cuando su temperatura es igual a la temperatura ambiente que define el fabricante.
- **Temperatura final del conductor:** Temperatura máxima del conductor indicada por el fabricante.
- **Resistencia del conductor:** Resistencia del conductor a cualquier temperatura.
- **Resistencia en corriente alterna (60Hz):** Resistencia resultante ante una corriente alterna.
- **Resistencia en corriente directa:** Resistencia resultante ante una corriente directa.
- **Coeficiente de efecto skin:** Factor de compensación entre la resistencia de corriente alterna y la resistencia de corriente directa.
- **Calor por radiación positiva:** Calor emitido a través de radiación de algún cuerpo en un sistema no aislado.
- **Calor por radiación negativa:** Calor ganado a través de radiación de algún cuerpo en un sistema no aislado.
- **Coeficiente de Emisividad:** Porcentaje de calor emitido de un cuerpo a través de radiación electromagnética.
- **Temperatura:** Indicador de energía calorífica que almacena un cuerpo.
- **Coeficiente de Absortividad:** Porcentaje de calor absorbido de un cuerpo a través de radiación electromagnética.

- **Altitud solar:** Arco vertical contado desde el horizonte hasta el astro, su valor absoluto es siempre menor o igual que 90°.
- **Azimut solar:** Es la distancia angular en el plano horizontal comprendido entre el punto cardinal Norte (que se toma como origen) y el punto coseno del objeto flotante, su valor absoluto es siempre menor o igual que 90°.

- **Latitud:** Distancia angular que hay desde un punto de la superficie de la Tierra hasta el paralelo del ecuador; se mide en grados, minutos y segundos sobre los meridianos.

- **Declinación solar:** La declinación solar es el ángulo entre la línea Sol-Tierra y el plano ecuatorial celeste (proyección del ecuador terrestre).

- **Hora solar:** Toma como origen el instante en el cual el Sol pasa por el meridiano, que es su punto más alto en el cielo, denominado mediodía. A partir de este instante se van contando las horas en intervalos de 24 partes hasta que completan el ciclo diurno.

- **Numero de Reynolds:** Define el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande).

- **Número de Prandtl:** Es un número adimensional proporcional al cociente entre la difusividad de momento (viscosidad) y la difusividad térmica.

- **Densidad:** Unidad de masa por unidad de volumen

- **Viscosidad del fluido:** La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción.

CAPITULO I

1 INTRODUCCION

La ampacidad o también conocida como corriente admisible es la máxima intensidad de corriente que puede establecerse de manera constante por un conductor sin sobrepasar los límites de temperatura que afecten las características físicas y eléctricas del mismo.

La presente investigación muestra los resultados del estudio de ampacidad en líneas aéreas de aleación de aluminio AAAC (Aleación de Aluminio y Acero) lo cual es muy apropiado para la selección del diámetro mínimo estandarizado que cumpla con los criterios de capacidad térmica y flechados tal como se indica en el Código Nacional de Electricidad Perú – Suministros 2011 - Sección 23 (Esta sección se ocupa de todas las distancias de seguridad referidas a las líneas aéreas).

Además de la capacidad que se debe de considerar ante un evento transitorio a diferencia de la norma IEEE 738, este estudio ofrece una muy clara aportación respecto a los algoritmos y el análisis térmico que ayuda al modelado del conductor AAAC para un diseño más óptimo de la línea respecto a su capacidad de transmisión eléctrica.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Para el diseño de una línea de trasmisión es indispensable dimensionar el conductor que cumpla con los criterios de capacidad de corriente y caída de tensión proyectado para cargas actuales y a futuro, el problema surge cuando deseamos seleccionar el diámetro adecuada del conductor ya que los catálogos de conductores AAAC solo entregan la ampacidad para condiciones medioambientales específicas y referidas al nivel del mar lo cual es poco útil para las líneas proyectadas en las alturas de nuestro territorio peruano. Por otra parte la corriente máxima está limitada por la temperatura del conductor la cual varía de 75°C o 80°C según las recomendaciones del fabricante y que va de la mano con la temperatura de diseño para el flechado, esto quiere decir que el

desconocimiento de la ampacidad puede ser perjudicial para la normal operación del sistema ya que al superar la temperatura de diseño por un exceso de corriente se pueden dar dilataciones peligrosas que combinadas con la acción del viento alteren la posición del conductor y sobrepasen las distancias de seguridad entre líneas o entre el terreno y la línea.

1.2 JUSTIFICACIÓN Y RELEVANCIA DEL ESTUDIO

El SEIN comprende más de 8 mil kilómetros de líneas de transporte de energía, propias y de terceros, que recorren 21 departamentos del Perú, estos grandes proyectos de transmisión de energía ameritan de estudios de ingeniería que calculen de forma precisa la capacidad de corriente que se puede transmitir por las líneas aéreas de acuerdo a las condiciones medioambientales y la ubicación geográfica de la instalación, esto nos permitirá determinar los límites de cargabilidad de la línea.

Para resolver esto se deberá de analizar los factores que intervienen en el cálculo de la ampacidad de líneas AAAC de transmisión de potencia que en consecuencia ayuda a realizar un mejor diseño de la línea para garantizar la buena operación del sistema.

En los anexos se insertara el código m-file requerido por el Software MATLAB R2013a el cual resume todas las ecuaciones que se explicaran a detalle, de tal forma que se pueda comprobar rápidamente los resultados de ampacidad por medio de la simulación.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo del estudio es determinar principalmente la Ampacidad, es decir la corriente en función de la temperatura en estado estable y en régimen transitorio para establecer la capacidad de transmisión de potencia de la línea manteniendo las distancias de seguridad afectadas por el flechado.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Implementar el algoritmo en el Software MATLAB R2013a para el fácil ingreso de datos y la rápida entrega de resultados.
- Desarrollar tablas de ampacidad de conductores AAAC con calibres que van desde 6 AWG hasta 1500 KCM para un rango de temperatura de 40°C hasta los 80°C en condiciones medioambientales y geográficas correspondiente a la ciudad de Arequipa.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 HIPOTESIS GENERAL

Si consideramos un sistema isotrópico además de parámetros medioambientales estables y apoyándonos en la primera ley de la termodinámica, es posible determinación de la ampacidad de una línea de transmisión de potencia.

1.5 VARIABLES

1.5.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes que se requieren para llegar al resultado final debido a su cantidad se dividen en 4 categorías según las características del conductor y la zona en donde se realice el estudio.

Características físicas del conductor

- Diámetro del conductor.
- Emisividad y Absortividad del conductor.

Características eléctricas del conductor

- Resistencia del conductor a 20°C.
- Resistencia del conductor a 75°C.

Características medioambientales de la zona

- Temperatura ambiental.
- Velocidad del viento promedio.

Características geográficas de la zona

- Altitud sobre el nivel del mar.
- Latitud de ubicación.

1.5.2 VARIABLES DEPENDIENTES

- Ampacidad del conductor.
- Corriente de corto circuito.

1.6 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dentro del alcance se considera que el viento es invariable en dirección y magnitud, y considerando que este factor es importante en el aporte de la ampacidad, esto nos limita a obtener resultados puntuales considerando solamente el peor escenario.

1.7 ESTADO DEL ARTE

La presente investigación tiene precedentes que han desarrollado claramente más de un método para determinar la ampacidad de líneas aéreas de transmisión de potencia, a continuación presentamos los trabajos dedicados a este tema.

A. TITULO: CAPACIDAD DE SOBRECARGA EN LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN.

AÑO DE PUBLICACION: 2012.

INSTITUCION: UNIVERSIDAD CARLOS III MADRID.

AUTORES: Rubén Sáez Ayala.

RESUMEN: En la actualidad se están produciendo importantes cambios en el sector eléctrico. La integración cada vez mayor de la generación distribuida a lo largo de los diferentes niveles de tensión de las redes eléctricas y las posibilidades que abren la aplicación de las tecnologías informáticas y de telecomunicaciones en el control y la gestión de las instalaciones y dispositivos eléctricos, están llevando a realizar un cambio en los paradigmas de gestión de las redes eléctricas.

El nuevo paradigma que engloba y desarrolla los aspectos mencionados anteriormente es comúnmente definido como “smart grids” o redes eléctricas inteligentes.

En este nuevo entorno de gestión de las redes eléctricas se plantean importantes retos que deberán ser afrontados de cara a una optimización en la utilización de los activos eléctricos, una mayor eficiencia energética y una mejor calidad de suministro.

CRITICA: La investigación está enfocada a comprar métodos ya establecidos y no desarrolla mayor aporte estando en la capacidad de poder generar nuevas soluciones que se adapten a las condiciones reales de cada situación.

B. TITULO: COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA AMPACIDAD EN CONDUCTORES AÉREOS TIPO ACSR.

AÑO DE PUBLICACION: 2010.

INSTITUCION: Departamento de Ingeniería Eléctrica E.T.S.I.I., Universidad de Vigo Campus Universitario de Marcosende, 36310 Vigo (España).

AUTORES: Carlos Garrido Suárez, Antonio Fernández Otero y Andrés Feijóo Lorenzo.

RESUMEN: El estudio de la ampacidad en conductores aéreos es de enorme interés para saber las condiciones máximas de explotación de líneas aéreas, sobre todo bajo situaciones de sobrecarga y cortocircuitos. El cálculo para conductores tipo ACSR presenta inconvenientes que sólo pueden soslayarse utilizando métodos de análisis numérico. Aunque en la literatura hay diferentes propuestas sobre el tema, en este trabajo presentamos un modelo basado en diferencias finitas que ha dado buenos resultados en la simulación al compararlos con medidas reales sobre conductores. El modelo nos permite investigar el comportamiento de los conductores bajo diferentes supuestos, así como compararlo con otros modelos y analizar la bondad de los mismos.

CRITICA: La presente investigación es limitada a conductores tipo ACSR, además, no ofrece una programación para la fácil solución de sus algoritmos.

C. TITULO: STANDARD FOR CALCULATING THE CURRENT-TEMPERATURE OF BARE OVERHEAD CONDUCTORS.

AÑO DE PUBLICACION: 2006.

INSTITUCION: IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers.

RESUMEN: En la presente investigación, el cálculo de calefacción solar fue ampliamente revisado, y se hicieron muchos cambios en la redacción. En consonancia con las directrices de la IEEE para los estándares de este tipo, las unidades SI se utilizan exclusivamente en el cuerpo principal. Unidades "Inglés" se utilizan en el Anexo A, ya que son ampliamente utilizados por los ingenieros de diseño de transmisión de energía de línea de América del Norte. Esta norma incluye un programa de computadora lista para servir como base para el desarrollo del programa. El grupo de trabajo ha hecho todo lo posible para asegurar que el programa produce resultados precisos. Se advierte al usuario que puede haber valores de los parámetros de calificación para los que el método no es apropiado.

CRITICA: La programación se presenta en un formato poco utilizado y las tablas ofrecidas pueden generar mucho error en los resultados.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

Para afrontar el tema antes debemos de revisar información relacionados con variación de energía interna, por ello en este capítulo atenderemos todo lo relacionado con la transferencia de calor en líneas de transmisión para entender la relación que esta tiene con la corriente eléctrica del conductor considerando todos los aspectos que suman y restan energía, estos factores se agrupan por la naturaleza de su origen, en resumen se generan por efectos eléctricos y por efectos físicos, sin embargo unos aportan más que otros y por esto al final solo se consideran los que aportan mayor cambio.

2.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR ORIGEN ELÉCTRICO

La transferencia de calor por origen eléctrico es comúnmente aplicada a las maquinas rotativas en donde se conoce con más detalle el principio de acción, sin embargo, no es exclusividad solo de estas, sino también podemos considerarla para el análisis térmico de líneas de transmisión en donde se tienen presentes distintos fenómenos provocados por campos eléctricos y magnéticos.

2.2.1 CALOR POR CORRIENTES DE FOUCAULT

Las corrientes de Foucault son una especia de perdidas ya que no se logra conseguir algún beneficio de ella, muy por el contrario aportan al calentamiento al sistema y degeneración de la capacidad de transmisión o transformación, usualmente este problema es atendido para transformadores de potencia y maquinas rotativas, sin embargo no pasa desprevenido en esta tesis ya que es inevitable imaginar que carecemos de su ausencia al establecerse una corriente en conductores AAAC.

No necesariamente se pide la presencia de un núcleo ferromagnético para justificar las corrientes de Foucault, ya que si consideramos un conductor y

analizamos lo que ocurre a su alrededor podríamos describir la siguiente sucesión:

Por la ley de ampere, la corriente genera un campo magnético alrededor del conductor, por la ley de Faraday, el campo magnético establece una *fem* inducida y este posteriormente, por ley de Ohm, se establece pequeñas corrientes denominadas corrientes de Foucault (*eddy currents o corrientes de torbellino*), como bien se sabe cuándo existe una corriente se resumen en calor por efecto joule.

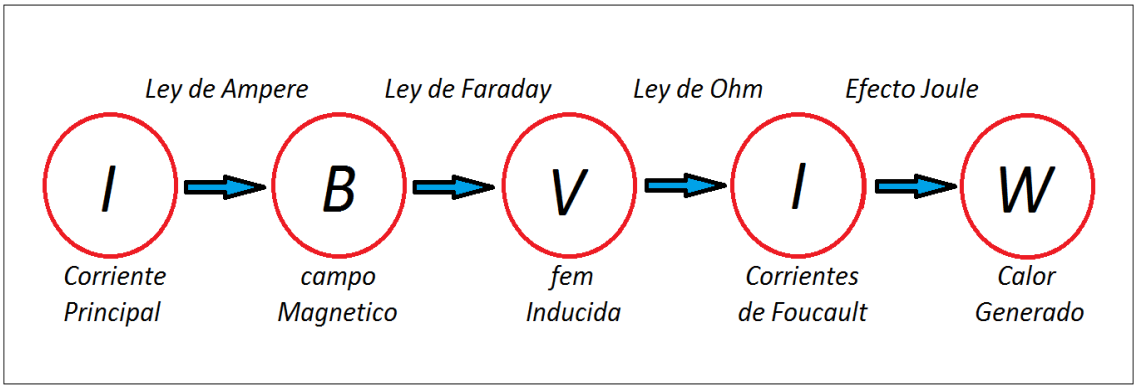

Figura 2.2.1. Fases de generación de corrientes de Foucault.

Muchos fabricantes han empleado técnicas que ayudan a minimizar todo este proceso, al investigarse detalladamente que factores intervienen, primeramente se definió que mayor era el calentamiento si el material tenía baja reluctancia magnética y alta conductancia eléctrica, por otra parte la frecuencia también cumplía un rol protagónico al tener una influencia directamente proporcional, además del volumen del material involucrado.

Si tratamos de aplicar este efecto a nuestro caso de estudio, debemos tener en cuenta que el material en análisis es aluminio que como se sabe tiene una alta conductancia en comparación con metales férreo, sin embargo en términos de reluctancia es mucho mayor solo comparable con la reluctancia del aire, por ello es considerado un material no magnético lo cual hace que el calor generado por corrientes de Foucault sea insignificante y excluido en el cálculo de la ampacidad por no generar cambios importantes de temperatura.

2.2.2 CALOR POR EFECTO CORONA

El efecto corona es un tipo de pérdidas en líneas de transmisión ya que reúne condiciones para emitir un sonido silbante, luminiscencias azulados al contorno del conductor y en algunos casos corrosión de sus componentes lo cual exige el aporte de energía, este efecto debe su principio a la ionización del aire por la diferencia de potencia a tal nivel que permite los efectos discretos.

Su consecuencia depende del diámetro de conductor, la superficie irregulares de las partes vivas y además si se trata de un ambiente contaminado y húmedo, el termino corona tiene sentido si se supone una vista en un plano perpendicular a la línea en donde se dibuja una circunferencia de aire ionizado que rodea al conductor al repeler y atraer a los iones a la misma frecuencia de la red produciéndose nuevos iones por colisión.

La norma IEEE UCSA reúne la experiencia de varios investigadores que indican que el nivel de tensión umbral de efecto corona por centímetro lineal puede detectarse con la siguiente ecuación.

$$V_{umb} = 30 * (1 - 0.7 * r)\ kV/cm$$

Ecuación (01).

Donde "r" es el radio del conductor en cm y la tensión de umbral "V_{umb}" resulta darse en kV, por otra parte la misma norma también nos ofrece un algoritmo que nos permite determinar la potencia perdida a causa de este efecto.

$$P_c = \frac{20.96 * 10^{-6} * f * U_f^2 * K_f}{Log_{10} \frac{|DMG|^2}{r}}\ kw/km$$

Ecuación (02).

Donde:

P_c: Potencia perdida por efecto Corona.

f: Frecuencia de operación.

U_f: Tensión de fase en kV.

T_c: Temperatura seleccionada del conductor.

K_f: Factor de relación de tensión de fase y tensión de umbral U_f/U_0

DMG: Diámetro medio geométrico entre conductores de fase.

r: Radio medio geométrico del conductor.

U_0: Tensión de fase que provoca la descarga en kV.

El factor "K_f" se debe de tomar de la siguiente tabla:

U_f/V_{umb}	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.5
K_f	0.0011	0.014	0.018	0.025	0.036	0.053	0.085	0.15	0.95

Tabla 2.2.2. Factor de relación de tensión de fase y tensión de umbral.

Las líneas con diámetros grandes y que a la vez son dotados de dos conductores a mas en el mismo aislador pueden minimizar los efectos negativos que provoca el efecto corona.

2.2.3 CALOR POR EFECTO JOULE Y LEY DE OHM

El efecto joule o calentamiento joule es el proceso mediante el que se transforma energía eléctrica en forma de energía interna en un conductor que ofrece cierta resistencia "R" y se somete a cierta corriente "I", esta transformación también es la consecuencia de pérdidas de eficiencia en todos los equipos eléctricos, así como en líneas de transmisión en donde para minimizar este suceso es preferible establecer altas tensiones de voltaje para requerir de una baja cantidad de corriente, por lo tanto es importante entender sobre la Ley de ohm que básicamente trata sobre la resistencia eléctrica que en realidad es una propiedad de cada material y está relacionado estrechamente con los electrones libres de sus átomos logrando una relación lineal entre tensión y corriente, esta regla es aplicable para casi todos los metales, sin embargo también existen materiales que no siguen esta ley y por ello se les denomina materiales no óhmicos, en otras palabras, los materiales óhmicos mantienen una proporcionalidad lineal ante cualquier variación de corriente siempre que se mantenga a la misma temperatura, pero como bien se sabe el calentamiento joule no permite esta

estabilidad. Cabe señalar que la ley de Ohm no es una ley fundamental de la naturaleza, sino una relación experimental válida para algunos materiales.

Como quiera, el efecto Joule se resume con la siguiente ecuación:

$$q_i = I^2 * R$$

Ecuación (03).

2.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR ORIGEN FÍSICO

Según la física clásica, existen tres tipos de transferencia de calor, la primera denominada ley conducción térmica aplicada a la transferencia de calor por conducción, la segunda llamada ley de enfriamiento de Einstein que comprende la transferencia de calor por convección y la tercera basada en la ley de Stefan la cual comprende la transferencia de calor por radiación electromagnética

2.3.1 LEY DE LA CONDUCCIÓN.

La práctica ha demostrado que cuando existe una elevación de temperatura en un cuerpo, hay una transferencia de calor de una región a otra siempre que exista un desbalance de temperatura, además que el gradiente de transferencia de calor es proporcional a la diferencia de temperatura y al área de contacto o área transversal de unión entre ambas regiones.

La rapidez de conducción térmica depende también de las propiedades del material expuesto. Por ejemplo, si se tiene sujeto una varilla de madera y se le expone a la flama, naturalmente no genera preocupación ya que por experiencia se sabe que se tardara mucho tiempo en transferir la temperatura de un extremo a otro, es más, antes que ocurra eso la varilla de madera terminara en degradarse, sin embargo, si suponemos otro escenario en donde la varilla fuese de metal, indudablemente la temperatura de un extremo a otro se transferiría con una rapidez notablemente mayor que la del caso anterior. Esto se debe principalmente por los electrones libres y la vibración de átomos que existen en dicho material haciendo una analogía destacable con respecto a la electricidad,

por lo tanto, en general un buen conductor eléctrico es también un buen conductor térmico.

Dimensionalmente el calor puede darse en calorías o joule, pero la transferencia es una razón de calor por unidad de tiempo, por tal motivo su unidad de medida más común son los watts; La siguiente ecuación resume lo comentado líneas arriba.

$$\frac{\mathrm{dQ}}{\mathrm{dt}} = k * A * \left(\frac{T_1 - T_2}{d}\right)$$

Ecuación (04).

Justamente de la ecuación anterior el factor de conductividad térmica "k" describe la capacidad que tiene un material para la transferencia de calor, algunos materiales ofrecen los siguiente valores.

Sustancia	Factor de conductividad térmica (w/m.°C)
METALES	
Aluminio	238
Cobre	397
Oro	314
Hierro	79.5
Plomo	34.7
Plata	427
NO METALES	
Asbesto	0.08
Concreto	0.8
Diamante	2300
Vidrio	0.8
Caucho	0.2
Agua	0.6
Madera	0.08
Aire	0.0234
Hidrogeno	0.172
Nitrógeno	0.0234
Oxigeno	0.0238

Tabla 2.3.1. Factores de conductividad térmica para sólidos, líquidos y gases.

2.3.2 LEY DE ENFRIAMIENTO POR CONVECCIÓN

Los transformadores de gran potencia trabajan a cierta temperatura para prevenir la degradación de su aislamiento interno y esto les permite tramitar cierta potencia ya que existe un equilibrio entre la temperatura generada y el calor disipado que mayoritariamente es debido al radiador que hace el intercambio de calor por el aire que rodea las placas y que circula por el cambio de densidad del mismo, a esto se le denomina convección natural, sin embargo, para que el transformador pueda aumentar la capacidad de transmitir mayor potencia estos se dotan de ventiladores, estos ayudan a acelerar el proceso de enfriamiento al provocar que el aire a menor temperatura incida de forma tangencial a las placas del radiador a una mayor velocidad, a este proceso se le denomina transferencia de calor por convección forzada.

En otras palabras, cuando un cuerpo que este a una temperatura diferente a algún fluido que lo rodea y este deba su dinámica al simple cambio de densidad, se tratara de una convección natural. Caso distinto es cuando en el mismo escenario el fluido deba su dinámica no solo por convección natural sino por la acción de un agente externo, a este proceso se le denominara convección forzada.

Claramente se nota que existe una relación entre el calor transmitido con la velocidad del fluido, sin embargo aún no podemos afirmar si es proporcionalmente directa o lineal, lo que si se presume es que en el intercambio de calor existirán factores que dependan de qué tipo de cuerpo y fluido estén interactuando, por ejemplo una placa de madera con aire no tendrán el mismo resultado de transferencia de calor por convección que una placa de cobre rodeada de agua.

Para entender mejor este proceso primero debe de definirse que existe una velocidad de flujo muy cerca a la tangente de la placa, sin embargo idealmente en la misma superficie de esta, la velocidad es cero como resultado de la acción de la viscosidad. Como la rapidez de la tela de fluido sobre la superficie es cero,

en este punto la transferencia de calor es por conducción térmica. De este modo podríamos utilizar la ecuación de conducción con factores de conductividad térmica y la diferencia de temperatura del fluido sobre la pared.

La convección influye cuando otra tela de fluido dinámica transporta nuevo fluido para el intercambio de calor y es ahí donde el nivel de viscosidad complica la operación al retardar el movimiento, quiere decir que la potencia de transmisión depende de la rapidez a la que el fluido conduce el calor; Por tanto, la taza de transferencia de calor depende de la diferencia de temperatura, el tipo de cuerpo y el tipo de fluido.

La siguiente expresión permite determinar la taza de intercambio de energía la cual fue derivada de la ley de conducción térmica y la ley de enfriamiento de Newton:

$$\frac{\mathrm{dQ}}{\mathrm{dt}} = H * A * (T_1 - T_2)$$

Ecuación (05).

Como en la ecuación anterior la taza de transferencia de calor está relacionada nuevamente con la variación de temperatura pero en este caso entre el fluido y la superficie en contacto, la variable "H" se le denomina coeficiente de transferencia de calor por convección, por desgracias este coeficiente se debe de determinar con factores experimentales en la mayoría de casos, adicionalmente, ya que se trata de un fluido, nuestros resultados tendrán una estrecha relación con algunos factores que antes no estaban incluidos tales como el calor específico, densidad del fluido, velocidad, viscosidad del fluido, entre otros.
De la ecuación anterior el problema se centra en determinar principalmente el coeficiente de transferencia de calor por convección "H" para ello se tiene la siguiente ecuación:

$$H = \frac{k * C * Re^n * Pr^{1/3}}{D}$$

Ecuación (06).

2.3.3 LEY DE STEFAN

A diferencia de la ley de conducción y la ley de enfriamiento de newton que utilizan un fluido para transferir energía, la ley de Stefan no requiere de ningún tipo de medio físico ya que debe su principio a la transmisión por ondas electromagnéticas y que además, mayoritariamente se transmite por ondas infrarroja la que permite a los cuerpos disipar o absorber calor, dicho de paso este rango de onda esta fuera del espectro de luz visible, sin embargo no quiere decir que la luz visible no pueda transmitir energía sino que es en menor medida reduciéndose de forma gradual mientras nos acercamos al rango de las ondas ultra violetas, recordemos que la potencia de energía radiada también es proporcional a la longitud de onda.

La siguiente expresión entrega la taza de transferencia de calor por radiación:

$$q_s = \sigma * A * \alpha * T^4$$

Ecuación (07).

El coeficiente de Absortividad (α) de la ecuación anterior representa la capacidad de absorber energía radiante cuyo valor puede estar comprendido de cero hasta la unidad y es dependiente únicamente de la superficie de cada cuerpo, es decir, las características de la superficie permite emitir o absorber energía en mayor o menor medida la cual depende del color de este, si profundizamos en realidad quien define el color no solo es el cuerpo sino el tipo de luz que incide sobre él, como sabrán el sol emite luz blanca que contiene todas las longitudes de onda visibles incluyendo la longitud de ondas infrarroja y ultravioleta y que son absorbidas por el cuerpo a excepción de la longitud de onda que corresponde al color que se observa, sin embargo, si se diera una luz que no contuviese esa misma longitud de onda, el cuerpo no podría devolverla porque simplemente no existe y el color que se percibiría seria otro, esto nos lleva a describir el caso de un cuerpo negro que en realidad es una ausencia de color ya que teóricamente todas las longitudes de onda son absorbidas, caso contrario un cuerpo blanco idealmente refleja todos los colores incididos sobre él, por lo anterior podemos

deducir fácilmente que un cuerpo negro tiene coeficiente de Absortividad mayor que un cuerpo blanco y que esto favorece al cambio de temperatura del mismo.

Un dato interesante es que aproximadamente 1370 Joule por metro cuadrado incide sobra la tierra cada segundo. Esta radiación es principalmente visible y es acompañada de luz infrarroja y una cantidad significativa de radiación ultravioleta, lo que es suficiente energía como para cubrir cientos de veces todas las necesidades de energía; el problema es capturarla y usarla de manera eficiente (Según Libro Serway 7ma Edición). Esto quiere decir que todos los cuerpos de la tierra están recibiendo energía diariamente y que se encuentran por encima del cero absoluto (T° > -273 °C o 0 °K), la teoría de Stefan también contempla esto, es decir, si un cuerpo llagara a estar en el cero absoluto entonces dejara de emitir energía radiante (teoría establecido en 1954 por el Comité Internacional de Pesos y Medidas).

2.4 POTENCIA MAXIMA DE UNA LINEA DE TRANSMISION

2.4.1 CIRCUITO EQUIVALENTE DE LINEA

El circuito equivalente para una línea de transmisión está conformada por los siguientes elementos: resistencia (R), inductancia (L), capacitancia (C) y conductancia (G).

Resistencia

$$R_f = R_o * \left[1 + \alpha_t * (T_f - T_o)\right]$$

Donde:

R_f: Resistencia a temperatura final del conductor.

R_o: Resistencia a temperatura inicial del conductor.

α_t: Coeficiente de temperatura de resistividad.

T_f: Temperatura final del conductor.

T_o: Temperatura inicial del conductor.

Reactancia

$$X = 4 * \pi * f * 10^{-7} \ln(\frac{DMG}{RMG})$$

Donde:

DMG: Diámetro medio geométrico.

RMG: Radio medio geométrico.

f: Frecuencia.

Susceptancia

$$C = \frac{2 * \pi * e}{\ln(\frac{DMG}{RMG})}$$

$$B = \frac{1}{2 * \pi * f * C}$$

Donde "e" es la permeabilidad eléctrica en el vacío.

Conductancia

Este parámetro es despreciable ya que está en el orden de los nano siemens, además, su cálculo es referente a las perdidas por efecto corona y perdidas por longitud de fuga del aislamiento lo cual depende mucho de las condiciones climatológicas de la zona.

Impedancia serie y Admitancia paralelo

La impedancia seria y la admitancia paralela conforman el circuito equivalente apreciable en la siguiente imagen.

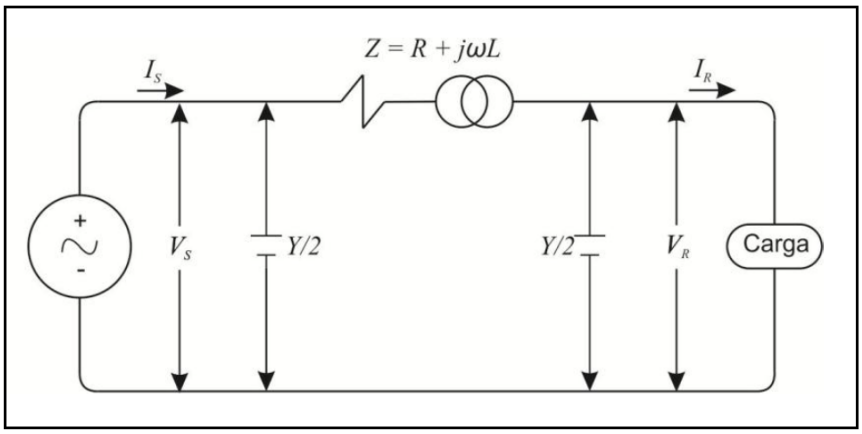

Figura 2.4.1. Circuito equivalente de línea de transmisión.

La impedancia serie es simplemente la suma vectorial de la resistencia y la reactancia.

$$Z = R + jX$$

Mientras que la Admitancia paralela se define como:

$$Y = G + jB$$

Impedancia característica y constante de propagación

La impedancia característica es esencial para el cálculo de los parámetros de línea y se calculan con la siguiente ecuación:

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$$

Mientras que la constante de propagación se define como:

$$\gamma = \sqrt{Z * Y}$$

Ya con estas definiciones se puede calcular los parámetros de línea.

2.4.2 PARAMETROS DE LINEA

Siempre que la topología de la línea no cambie, los parámetros de línea representan constantes numéricas que se calculan de la siguiente forma:

$$A = \cosh(\gamma l)$$

$$B = Z_c * \operatorname{senh}(\gamma l)$$

$$C = \frac{\operatorname{senh}(\gamma l)}{Z_c}$$

$$D = \cosh(\gamma l)$$

Donde “l” es la longitud de la línea en metros.

2.4.3 POTENCIA MAXIMA DE UNA LINEA DE TRANSMISION

El estudio de la potencia máxima de carga y la relación de la potencia de carga entre la tensión de la red nos permiten mantener la estabilidad de voltaje, estos estudios dependen básicamente de conocer el voltaje, la corriente, el factor de potencia y en algunas veces si el sistema lo requiere de dispositivos reguladores de tensión.

El flujo de potencia en la línea de transmisión puede determinarse haciendo uso de las constantes A, B, C y D definidas anteriormente.

$$V_s = A * V_R + B * I_R$$

$$I_R = \frac{V_s - A * V_R}{B}$$

Y teniendo en cuenta lo siguiente:

$$A = |A| \measuredangle \alpha \qquad B = |B| \measuredangle \beta$$

$$V_R = |V_R| \measuredangle 0 \qquad V_s = |V_s| \measuredangle \delta$$

Por lo tanto.

$$I_R = \frac{|V_s|}{B} \measuredangle (\delta - \beta) - \frac{|A| * |V_R|}{B} \measuredangle (\alpha - \beta)$$

La corriente conjugada es:

$$I_R = \frac{|V_s|}{B} \measuredangle (\beta - \delta) - \frac{|A| * |V_R|}{B} \measuredangle (\beta - \alpha)$$

De tal forma, la potencia compleja en el extremo receptor queda de la siguiente forma:

$$S = V_R * {I_R}^* = P_R + jQ_R$$

$$S = P_R + jQ_R$$

$$P_R + jQ_R = \frac{|V_s| * |V_R|}{B} \measuredangle (\beta - \delta) - \frac{|A| * |V_R|^2}{B} \measuredangle (\beta - \alpha)$$

La potencia activa y reactiva se separa con las funciones trigonométricas:

$$P_R = \frac{|V_s| * |V_R|}{B} cos(\beta - \delta) - \frac{|A| * |V_R|^2}{B} cos(\beta - \alpha)$$

$$Q_R = \frac{|V_s| * |V_R|}{B} sen(\beta - \delta) - \frac{|A| * |V_R|^2}{B} sen(\beta - \alpha)$$

La siguiente imagen representa la posición y dirección de los fasores de potencia activa y reactiva descritos anteriormente.

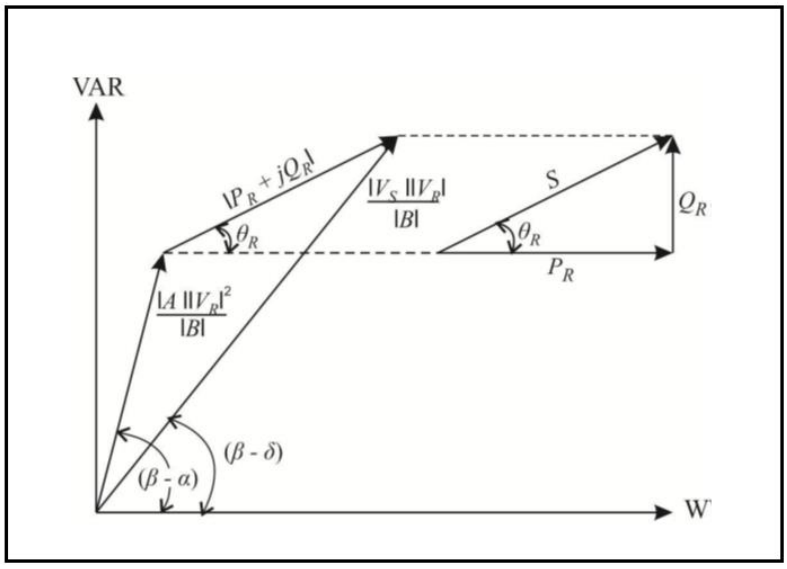

Figura 2.4.3.a. Diagrama fasorial de potencia activa y reactiva.

De la imagen anterior se pude definir de forma simplificada las siguientes ecuaciones que representa el triángulo de potencia.

$$P_R = |V_R| * |I_R| * \cos(\Theta_R)$$

$$Q_R = |V_R| * |I_R| * sen(\Theta_R)$$

De aquí el factor de potencia queda definido con la siguiente expresión:

$$FP = \frac{P_R}{S} = \frac{P_R}{\sqrt{{P_R}^2 + {Q_R}^2}} = cos(\Theta_R)$$

Por otro lado, de la imagen anterior si se recorre el punto inicial del triángulo de potencia al punto de origen de las coordenadas del plano, se obtiene la

representación de la siguiente figura. Si la tensión en la carga "V_R" se mantiene constante, el punto n se mantendrá en su posición, mientras que el punto "k" es variable teniendo un rango de operación sobre la curva punteada (Curva de capacidad), Si el ángulo $(\beta - \delta)$ se acerca a cero indicara entonces un incremento máximo en la potencia entregada tal como lo manifiesta la siguiente ecuación:

$$P_{R,max} = \frac{|V_s| * |V_R|}{B} - \frac{|A| * |V_R|^2}{B} cos(\beta - \alpha)$$

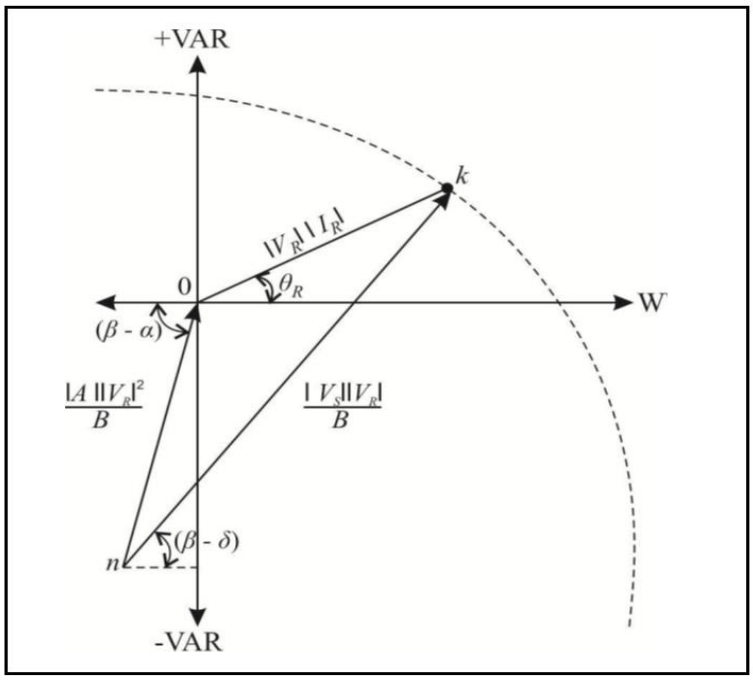

Figura 2.4.3.b. Curva de potencia de línea de transmisión.

Como la tensión de la carga se debe de mantener estable no queda más que regular la tensión de entrada $V_s = |V_s| \measuredangle \delta$, es decir, debe de regularse en magnitud y ángulo, sin embargo, no se recomienda que "δ" sea mayor a 35° y que la relación de voltaje entre la carga y la fuente sea menor de 0.95 de lo contrario se ingresara a una zona de inestabilidad.

CAPITULO III

3 MODELAMIENTO PARA DETERMINAR LA AMPACIDAD DE LÍNEAS

En el presente capitulo atenderemos el modelamiento de corriente-temperatura del conductor AAAC en régimen estable no sin antes definir los parámetros que intervienen tales como ganancias y pérdidas de calor por convección, efecto joule y radiación solar. Una vez definido los algoritmos procederemos a describir el mejor procedimiento para obtener resultados de forma analítica y al mismo tiempo hacer las comparaciones y validaciones de estos por medio de catálogos que contengan datos experimentales de sus productos, de presentarse eventos de corto circuito se tiene previsto el análisis de la Ampacidad en régimen transitorio para conocer con certeza los tiempos de falla permitidos de tal forma que no se establezca defectos en el conductor por elevaciones de temperatura. Finalmente se analizara los resultados para la toma de decisiones respecto al proyecto de transmisión que se tenga pensado.

3.1 ASPECTOS GENERALES

3.1.1 CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Nuestra geografía peruana es tan variada como sus medios climatológicos, en el caso del estudio de líneas de transmisión largas trae consigo algunas complicaciones para definir las condiciones medioambientales del estudio.

Para aligerar los cálculos consideraremos factores medioambientales promedios, dadas las aclaraciones comentaremos respecto a los factores que intervienen en el estudio de la ampacidad.

a. La dirección del viento

Cuando el viento sopla paralelo al eje del conductor se denomina "viento paralelo." Cuando el viento sopla perpendicularmente al eje del conductor se denomina "viento perpendicular. Para nuestro estudio el viento es perpendicular al conductor y constante en magnitud aun que estadísticamente este último no es posible debemos de seleccionar una

velocidad de viento mínimo para garantizar los resultados, por lo tanto asignaremos al vector del viento un valor de 0.61m/s (Valor recomendado por la norma IEEE 738).

b. Radiación solar

La radiación solar es dependiente básicamente de la latitud geográfica en el lugar de estudio y de la temporada del año por lo cual es variante día a día por el movimiento de translación de la tierra respecto al sol, para solucionar esto consideraremos el escenario más desfavorable, por ello se debe recurrir a estudios de radiación y determinar el mes del año que se da la máxima incidencia solar no siendo suficiente podrá considerarse que el instante de mayor radiación será a medio día o cuando el sol este lo más perpendicular respecto a la horizontal.

c. Nivel de altitud

Como lo mencionamos anteriormente, nuestra geografía varia constantemente a cada kilómetro de recorrido de la línea, sin embargo podemos asumir un valor promedio y definir las consecuencias que tenemos por esta variante que básicamente se refleja en el cambio de la presión atmosférica la cual repercuta en el intercambio de calor por convección entre el conductor y el medio ambiente.

d. Temperatura de ambiente

La temperatura de ambiente es referida a la temperatura del aire la cual al igual que el factor de incidencia solar se debe de sincerar por medio de estudios climatológicos que determinen una temperatura de ambiente promedio en la zona en donde se pretende hacer la instalación.

3.1.2 CONSIDERACIONES DEL CONDUCTOR AAAC

a. Tipo de material

Para nuestra investigación consideraremos que la variación de temperatura de un conductor AAAC (Aleación de Aluminio y Acero) se supone isotérmica (es decir, no axial o variación de temperatura radial) ya que se trata de un

material homogéneo y esto lo consideraremos para todos los cálculos de estado estacionario y para los cálculos transitorios donde el período de tiempo de interés sea menor a 1seg.

b. Emisividad y Absortividad:

Si mencionamos el termino de radiación entonces también debemos de incluir los términos de Emisividad y Absortividad que son constantes proporcionales a la cantidad de calor que un material puede emitir y absorber respectivamente dependiendo generalmente de su superficie, por ejemplo: un espejo es un mal absorbedor ($\alpha \approx 0$) de calor, caso contrario un objeto oscuro en un buen absorbedor ($\alpha \approx 1$) de calor, investigaciones experimentales afirman que los conductores de aluminio tienen una Emisividad y Absortividad que va desde 0,23 a 0,91 para ambos casos, este valor puede ser elegido libremente entre estos rangos sin embargo también hay que considerar el oscurecimiento del conductor, la norma IEEE Std 738 considera la Emisividad y Absortividad un valor cuantitativo de 0.5 para conductores de aluminio.

c. Temperatura del conductor en régimen transitorio

El incremento gradual de la corriente suele ser bastante grandes para corrientes mayores a 10kA, además, el tiempo correspondiente para llegar a la temperatura máxima permitida es normalmente corto (menor a 0.5 segundo) y las temperaturas máximas alcanzadas pueden acercarse al punto de fusión de aluminio (630°C). En el caso de un conductor no homogéneo como el conductor de aluminio con alma de acero (ACSR), la generación de calor es mayor en el aluminio y menor en el alambrado de acero debido a la diferencia de coeficiente de temperatura, como quiera, la diferencia de temperatura resultante entre el núcleo de acero y los hilos de aluminio disminuye después de no más de 60 segundos sin embargo estos cambios bruscos de temperatura suelen deformar el conductor y dejar daños permanentes. Si fuese el caso de analizar un conductor ACSR se puede seguir la misma metodología que el conductor AAAC, a pesar de que los resultados

no tengan la misma precisión. Por lo anterior no es necesario llegar a la temperatura de fusión del aluminio sino dejarnos llevar por las recomendaciones del fabricante ya que los valores entre catálogos son muy cercanos entre sí con temperaturas alrededor de los 130°C, por lo tanto esta temperatura será un referente para los resultados obtenidos en régimen transitorio.

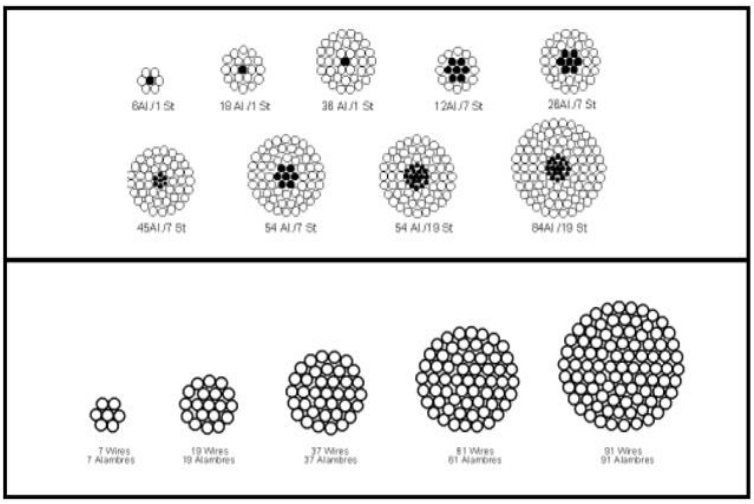

Figura 3.1.2. Conductores tipo ACSR y AAAC (Fuente: Catalogo CONAL).

3.2 MODELAMIENTO POR CORRIENTE TEMPERATURA

Lo primero que se debe de tener en mente para el modelamiento es una ecuación que relacione la corriente con la temperatura, para ello primero pensemos en la Ley de conservación de la energía establecida por James Joule en 1842 la cual señala que la sumatoria total de energía en cualquier sistema físico aislado permanece invariable con el tiempo, aunque dicha entidad puede convertirse en otra forma de energía. En resumen, la ley de la conservación afirma que la energía no puede crearse ni destruirse, sólo se transforma. Aclarado lo anterior ahora surge la necesidad de imaginar un sistema en el cual el escenario este definido y estable para nuestro caso particular, y si la relacionamos con el calor podemos sugerir que se entienda de un sistema con temperatura invariable, es decir, que haya alcanzado el equilibrio térmico.

Por lo anterior que en resumen menciona un sistema ideal que cumpla la ley de conservación de energía en un proceso isotrópico podemos justificar la hipótesis planteada.

$$\Delta E_{int} = Q + W$$

Ecuación (08).

Donde "ΔE_{int}" es la variación de energía interna del sistema que es igual a la cantidad de calor que ingresa "Q" más el trabajo efectuado por el sistema sobre sus alrededores "W", sin embargo el aumento de energía en un conductor no genera trabajo sobre el entorno que lo rodea por lo tanto:

$$W = 0$$

En consecuencia nuestra ecuación resulta de la siguiente manera:

$$\Delta E_{int} = Q$$

$$\Delta E_{int} - Q = 0$$

Como podemos observar existe un factor que aporta de forma positiva y otro que afecta de forma negativa al sistema, en términos más simples, la ecuación anterior trata de hacernos entender que si existe un aportante de calor, toda esta energía se manifestara como un aumento de la energía interna la cual puede darse como un aumento de presión en el caso de un gas o el aumento de temperatura si nos referimos de un objeto sólido, siendo este último lo que mejor se adapta para nuestras necesidades, ahora respetaremos lo mencionado en la hipótesis de este informe que se refiere al equilibrio térmico, por lo tanto de la ecuación anterior tenemos:

$$\Delta E_{int} = 0$$

Expandiendo la ecuación tenemos:

$$E_{in} - E_{out} = 0$$

Ecuación (09).

Es decir, ya no existe una variación de la energía interna del sistema sino un equilibrio entre el calor que ingresa y el calor que sale lo cual analizaremos detalladamente en los siguientes apartados.

3.2.1 GENERACIÓN DE CALOR

Como consecuencia del normal funcionamiento de una línea de transmisión se tiene que asumir algunos porcentajes de pérdidas de energía y que en general se manifiestan como aumentos de la temperatura debido a diferentes factores extraídos del marco teórico, discriminando solo los que tienen un importante cambio de temperatura.

Transferencia de calor por efecto joule (q_i).- Como se presumía el efecto joule es un importante aporte energía térmica debido al paso de la corriente eléctrica que al circular por un conductor imperfecto, parte de la energía es transformada en calor por las colisiones de los electrones, esto no tiene alivio ya que todo material ofrece una resistencia al paso de la corriente. El efecto joule matemáticamente es proporcional al cuadrado de la magnitud de la corriente eléctrica y proporcional a la resistencia la cual es propia de cada material y se puede manifestar en diferentes grados de seriedad, en este caso particular todas las líneas de transmisión por cuestiones técnicas y económicas están hechas de aleación de aluminio que en realidad no es el mejor material sin embargo ofrece otras ventajas que son al final de cuentas la mejor opción.

$$q_i = I^2 * R(T_c)$$

Ecuación (10).

De la ecuación anterior es importante tener en cuenta que la resistencia es un valor inestable y que depende de muchos factores pero que en realidad los más resaltantes también son los más conocidos, una de ellas es la variación de la temperatura y para esto existen teorías que satisfacen el comportamiento de la resistencia para un intervalo limitado de variación de temperatura pero en general su cambio es prácticamente lineal tal como lo expresa la siguiente ecuación.

$$R_f = R_o * \left[1 + \alpha_t * (T_f - T_o)\right]$$

Ecuación (11).

Donde:

R_f: Resistencia a temperatura final del conductor.

R_o: Resistencia a temperatura inicial del conductor.

α_t: Coeficiente de temperatura de resistividad.

T_f: Temperatura final del conductor.

T_o: Temperatura inicial del conductor.

Otra forma más precisa de determinar la resistencia para diferentes temperaturas es el método de interpolación lineal en donde necesariamente se requiere dos valores de resistencia a diferente temperatura, valores que deberán de ser otorgados por el fabricante ya que estos tienen un carácter experimental y garantizan resultados muy certeros; observemos la siguiente ecuación en donde se pretende determinar la resistencia para una temperatura del conductor "T_c".

$$R(T_c) = \left[\frac{R(T_h) - R(T_l)}{T_h - T_l}\right] * (T_c - T_l) + R(T_l)$$

Ecuación (12).

Donde:

$R(T_c)$: Resistencia a temperatura seleccionada del conductor

$R(T_h)$: Resistencia a temperatura alta (valor conocido).

$R(T_l)$: Resistencia a temperatura baja (valor conocido).

T_c: Temperatura seleccionada del conductor.

T_h: Temperatura alta del conductor (valor conocido).

T_l: Temperatura baja del conductor (valor conocido).

Rescatando lo mencionado líneas arriba respecto a la variación de la resistencia por diferentes factores, también podemos atribuirle la responsabilidad al efecto piel que básicamente se debe a la disminución del área trasversal efectiva debido a la frecuencia de la corriente que en consecuencia aumenta la resistencia del

conductor al impedir que los electrones se establezcan por toda la sección y muy por lo contrario se aprecia que hay una mayor densidad de corriente en la superficie que en el interior del conductor aunque ciertamente esto depende de una frecuencia adecuadamente alta, es notorio el aumento para una corriente alterna de 60Hz en comparación con una corriente continua tal como se aprecia en la siguiente imagen.

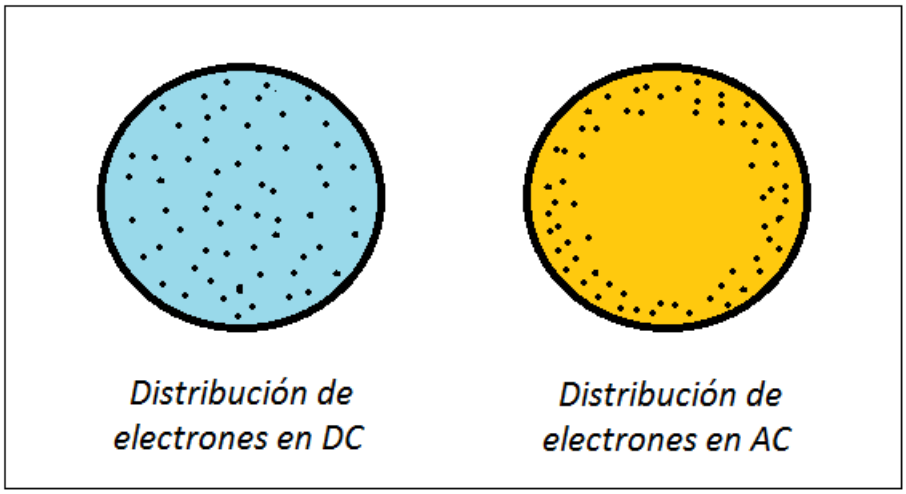

Figura 3.2.1. Diferencia entre corriente DC y AC producto del efecto Piel.

Existen métodos para aliviar el efecto piel o también llamado efecto skin el cual consiste en diseñar el conductor con muchas hebras de tal forma que la sumatoria de todas las superficies del conductor sea importante lo cual al final de cuentas se puede traducir como un aumento de la sección transversal adicionalmente con esta técnica aumenta la flexibilidad del conductor.

Sin más preámbulos una forma práctica de determinar la resistencia es usando un factor que resume bien el cambio de resistencia de corriente continua a resistencia a corriente alterna para cualquier diámetro y a una frecuencia de 60Hz tal como se aprecia en la siguiente ecuación:

$$R_{ac} = k_s * R_{dc}$$

Ecuación (13).

Donde:

R_{ac}: Resistencia en corriente alterna (60Hz).

k_s: Coeficiente de efecto skin (1.0123, valor experimental de fabricante).

R_{ac}: Resistencia en corriente directa.

Todo lo descrito es de suma importancia para el modelamiento de corriente temperatura sin embargo existen otros factores que aportan en el incremento de la temperatura en el conductor en menor medida, por ejemplo el efecto corona.

3.2.2 GANANCIA DE CALOR

Ganamos calor cuando un agente externo contribuye en suministrar energía interna al sistema la cual se puede presentar como una elevación de la temperatura, pero cuantas formas de transferencia de calor podemos incluir si se supone que la línea aérea está aislada del entorno físico salvo por los aisladores que la sostienen y el aire que lo rodea, existe un agente que aún no hemos analizado el cual es la **radiación solar.**

Transferencia de calor por radiación positiva (q_s).- El sol es un suministro importante de calor sin embargo debemos mencionar que su acción no es constante y que depende de muchos factores medioambientales y geográficos tales como:

- La claridad del cielo
- Altitud sobre el nivel del mar de la línea de transmisión
- Ubicación en latitud de la línea de transmisión
- Punto de rotación de la tierra (hora del día)
- Ubicación de la tierra en la trayectoria de traslación (día del año)

Este aporte de calor es conocido como la **ley de Stefan**, la tesis de Stefan señala lo siguiente:

$$q_s = \sigma * A * e * T^4$$

Ecuación (14).

El coeficiente de Emisividad "e" el cual tiene el mismo valor que el coeficiente de Absortividad "α" es una propiedad de todo material y representa la capacidad

de entregar o recepcionar la energía radiante cuyo valor puede estar comprendido de cero hasta la unidad y es dependiente únicamente de la superficie por otra parte, "σ" es la constante de Stefan (5.6696 x 10^{-8} w/$m^2 . K^4$).

Otra forma de expresar la ecuación de Stefan es simplificándola de la siguiente forma:

$$q_s = e * A * Q$$

Ecuación (15).

$$q_s = \alpha * A * Q$$

Ecuación (16).

Donde:

- q_s: Calor por radiación solar en watts por unidad de longitud
- A: Área efectiva por unidad de longitud (m^2/m) o diámetro del conductor en (m)

Donde "Q" es el calor radiado o absorbido por unidad de área antes de ser afectado por el coeficiente el cual como ya mencionamos antes depende de la superficie del cuerpo, en nuestro caso particular estamos analizando la ganancia de calor por tal circunstancia optaremos por la ecuación que está relacionada con la absorción de energía.

Según la norma IEEE 738 recomienda que el coeficiente de Absortividad α tenga valores que van desde 0.23 hasta 0.91 para metales expuestos a la radiación solar mientras que muchos catálogos de conductores AAAC y ACAR nacionales e internacionales recomiendan que se le asigne 0.5, como quiera, con esta información queda resuelto el coeficiente de Absortividad mientras que el problema se reduce en determinar "Q" que a simple vista solo es un valor numérico expresado en watts por metro cuadrado pero que para su determinación se debe de respetar una seria de ecuaciones.

Justamente la incidencia efectiva está rectificada por el seno del ángulo de incidencia respecto al vector normal de la línea de transmisión, para esto está claro asumir que la línea es totalmente horizontal, luego de la aclaración queda como se representa en la siguiente ecuación:

$$Q = Q_{se} * sen(\Theta)$$

Ecuación (17).

Con esto la ecuación 16 queda como sigue:

$$q_s = \alpha * Q_{se} * sen(\Theta) * A$$

Ecuación (18).

La norma IEEE 738-2006 describe cómo podemos determinar "Q_{se}" a lo que ellos denominan flujo de calor corregido además del ángulo efectivo de incidencia solar "Θ".

Hallando "Q_{se}":

$$Q_{se} = K_{solar} * Q_s$$

Ecuación (19).

Donde "K_{solar}" es el factor de corrección por altitud el cual podemos determinar por medio de la siguiente ecuación:

$$K_{solar} = 1 + 1.148 * 10^{-4} * H_e - 1.108 * 10^{-8} * {H_e}^2$$

Ecuación (20).

Evidentemente "H_e" es la altitud sobre el nivel del mar expresado en unidades de metros a la cual se encuentra instalada la línea de transmisión (Nota: se puede tomar un valor promedio si la línea de transmisión a lo largo de su longitud se encuentra instalada a diferentes cotas de nivel).

Ahora es turno de hallar "Q_s" que representa al flujo de calor incidente a nivel del mar, dicha densidad de flujo de calor solar a nivel del mar depende tanto de la altitud solar "H_c" y la claridad atmosférica como se puede ver en el siguiente polinomio:

$$Q_s = A + B * H_c + C * {H_c}^2 + D * {H_c}^3 + E * {H_c}^4 + F * {H_c}^5 + G * {H_c}^6$$

Ecuación (21).

Donde las letras A, B, C, D, E, F y G son constantes determinadas experimentalmente para condiciones de atmosfera limpia y atmosfera industrial, estos constantes pueden ser elegidos libremente de las siguientes tablas según sea el requerimiento:

Opción 1.- Atmosfera limpia	
A	–42.2391
B	63.8044
C	–1.9220
D	3.46921 × 10-
E	–3.61118 × 10-4
F	1.94318 × 10-6
G	–4.07608 × 10-9

Tabla 3.2.2.a. Constantes del polinomio para Atmosferas Limpias.

Opción 2.- Atmosfera industrial	
A	53.1821
B	14.211
C	6.6138 × 10-1
D	–3.1658 × 10-2
E	5.4654 × 10-4
F	–4.3446 × 10-6
G	1.3236 × 10-8

Tabla 3.2.2.b. Constantes del polinomio para Atmosferas Industriales.

Obviamente si se trata de una línea de transmisión que es instalada fuera de la ciudad en donde comúnmente nos encontramos con cielos despejados elegiremos las constantes de la opción 1, por lo contrario si nuestra línea de transmisión se encuentra en medio de una avenida de una ciudad en donde el ambiente esta sobrecargado producto de la contaminación del parque automotor o industrial adyacentes se recomienda seleccionar la opción 2.

De la ecuación anterior quedaba pendiente la determinación de H_c que representa la altitud solar la cual se resuelve con la siguiente expresión:

$$H_c = asin[cos(Lat) * cos(\delta) * cos(\omega) + sin(Lat) * sin(\delta)]$$

Ecuación (22).

Donde:

- Lat: Es la latitud a la cual se encuentra ubicada la línea de transmisión y se expresa en grados (Valor a ingresar).
- δ: Es la declinación solar el cual va de 0 a 90° y es representada con la siguiente ecuación:

$$\delta = 23.4583 * \left[\frac{284 + N}{365} * 360\right]$$

Ecuación (23).

De la ecuación anterior "N" representa el día del año, por ejemplo si supuestamente el estudio se diera apara el día 15 de enero "N" tomaría el valor de 15, en otro caso si fuese 10 de febrero y sabiendo que enero cuenta con 31 días entonces "N" tomaría el valor de 41, por lo tanto "N" podría tomar cualquier valor desde 1 hasta 365 que es el total de días que pertenecen a un año generalmente.

- ω: Es la hora solar y se debe de expresar también en grados sexagesimales, su valor puede ir desde -180° hasta los 180° y es posible determínalo con la siguiente expresión:

$$\omega = 15 * (h - 12)$$

Ecuación (24).

De la expresión anterior "h" simboliza la hora del día, como ya se ha notado dicha ecuación permite convertir las horas del día en horas solares, por ejemplo si fuese el medio día (h= 12:00) entonces "ω" seria 0°, por otro lado si fuesen las 1:00pm (h= 13:00) entonces ω tomaría el valor positivo de 15°.

El ángulo efectivo de incidencia solar "Θ" es calculado con el siguiente algoritmo:

$$\theta = acos[\cos(H_c) * \cos(Z_c - 90°)]$$

Ecuación (25).

Recordemos que "H_c" es la altitud solar y ya fue resuelta anteriormente, queda aún por mencionar a "Z_c" que representa la azimut del sol lo cual nos encamina a la siguiente ecuación:

$$Z_c = \arctan(\chi) + C$$

Ecuación (26).

Con la información anterior puede hallarse "χ":

$$\chi = \frac{\sin(\omega)}{\sin(\text{Lat}) * \sin(\omega) - \cos(Lat) * \tan(\delta)}$$

Ecuación (27).

Para determinar "C" es cuestión de observar la siguiente tabla:

Hora ángulo (ω)	Valor de C solo si $\chi \geq 0$	Valor de C solo si $\chi < 0$
$-180° \leq \omega < 0°$	0°	180°
$0° \leq \omega \leq 180°$	180°	0°

Tabla 3.2.2.c. Constantes de azimut sola.

Por último, el parámetro "C" Llamado constante de azimut solar puede tomar dos valores de forma discreta, es decir 0° o 180° como se observa en la tabla anterior siempre que se observe dos condiciones, por ejemplo, si "χ" resulta ser mayor a 0, y que además, "ω" está comprendido entre -180° a 0° entonces "C" toma el valor de 0°.

3.2.3 PERDIDAS DE CALOR

Referente a la ampacidad de una línea, la pérdida de calor serian un factor beneficioso ya que existe una evacuación de energía excedente el cual nos da cabida para aumentar en otros aspectos que estén relacionados con la cargabilidad de la línea de trasmisión. La presente está relacionado con la refrigeración por diferentes métodos de transferencia de calor los cuales detallaremos enseguida:

Transferencia de calor por radiación negativa (q_r).- En el apartado anterior se expuso el método de transferencia de calor positiva que en resumen se refiere a la ganancia de calor por radiación solar en donde el agente que gana energía era el conductor, en este apartado describiremos el mismo método de transferencia de calor por radiación térmica pero de forma negativa, es decir en vez de que el conductor gane energía en este caso lo perderá, ya que como se mencionó antes, toda cuerpo que esté por encima del cero absoluto está dispuesto a entregar energía por radiación y por esto mismo es un factor importante en la determinación de la ampacidad.

Nuevamente trataremos el teorema de Stefan ideal para relacionar el calor con la temperatura solo que en este caso "q_s" será reemplazado con "q_r", además, como se trata de un flujo de calor negativo se debe de usar el coeficiente de Emisividad "e" que representa el porcentaje de calor aceptado por el cuerpo y como ya lo mencionamos anteriormente tiene el mismo valor numérico que el coeficiente de Absortividad "α".

$$q_r = \sigma * A * e * T^4$$

Ecuación (28).

Gracias a la ecuación de Stefan podemos conocer numéricamente el calor emitido por un cuerpo, sin embargo esta ecuación no considera que a sus alrededores puedan existir otros agentes que contribuyan tal como el aire que lo rodea el cual cumple con la condición de estar por encima del cero absoluto y por ende también puede emitir radiación térmica al conductor. Por lo anterior si la línea de transmisión se encentra a una temperatura "T", además, el aire que lo rodea está a una temperatura "T_0" y al mismo tiempo se ha establecido un equilibrio térmico, entonces la taza de energía ganada es tal como lo expresa el siguiente algoritmo:

$$q_r = \sigma * A * e * \left[T^4 - {T_0}^4\right]$$

Ecuación (29).

Para mayor comodidad expresaremos la ecuación para que se pueda trabajar con grados Celsius y no en grados Kelvin sabiendo que la diferencia entre ambas unidades es 273 unidades, además, modificaremos la densidad de área "A" por el diámetro del conductor "D" y recordando que la constante de Stefan "σ" es 5.6696 x 10^{-8} W/m^2. K^4, tenemos lo siguiente:

$$q_r = 0.0178 * D * e * \left[\left(\frac{T_c + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_a + 273}{100}\right)^4\right]$$

Ecuación (30).

Donde:

- q_r: Es el flujo de calor que absorbe el conductor por unidad de área.
- D: Es el diámetro del conductor en metros.
- T_c: Es la temperatura del conductor en grados Celsius.
- T_a: Es la temperatura de ambiente en grados Celsius.
- e: Coeficiente de Emisividad.

Transferencia de calor por convección (q_c).-

Como se mencionó anteriormente la transferencia de calor por convección forzada se da cuando existe un agente externo que genera un flujo y este incida sobre otro objeto que debe de estar a una temperatura diferente, en nuestro caso vendría a ser el conductor AAAC, el fluido forzado obviamente es el aire que usualmente se presenta con una velocidad aleatoria e impredecible propia de su naturaleza. Para esto existen teorías que deben de explicarse al lector antes de presentar las ecuaciones que resuelvan el problema.

Este proceso deriva de la ley de conducción térmica la cual solo se genera si existe un gradiente de temperatura, considere dos superficies definidas por un área "A" y separadas a una distancia "d" de un material con la propiedad de transmitir energía calorífica a un factor de "k", indudablemente provocara una taza de transmisión de energía la cual no necesariamente debe de ser constante sin embargo, si la temperatura de ambas superficies llegaran a estabilizarse en valores diferentes, entonces podríamos afirmar que la siguiente ecuación es válida:

$$\frac{\mathrm{dQ}}{\mathrm{dt}} = k * A * \left(\frac{T_1 - T_2}{d}\right)$$

Ecuación (31).

Donde:

- Q: Energía calorífica en joule.
- t: Tiempo en segundos.
- k: Constante de proporcionalidad de conductividad térmica (watts.m /°C)
- A: Área efectiva en metros cuadrados.
- T_1: Temperatura de superficie “1”.
- T_2: Temperatura de superficie “2”.
- d: Distancia de separación de superficies.

Si bien está ecuación inicialmente se destinó para determinar el calor transmitido para superficies planas no es exclusivo de estas, ya que por medio de métodos de integración de primer orden, es factible aplicarla para fenómenos de transferencia de calor por convección para superficies cilíndricas bien definidas. Justamente ISAAC NEWTON en 1701 publicó anónimamente la obra "Scala graduum Caloris. Calorum Descriptiones & signa." en Philosophical Transactions la que hoy se conoce como la Ley de enfriamiento de Newton la cual fue determinada experimentalmente analizando el proceso de enfriamiento de diferentes materiales.

$$\frac{\mathrm{dQ}}{\mathrm{dt}} = H * A * (T_1 - T_2)$$

Ecuación (32).

La ecuación anterior puede desarrollarse si consideramos que el área de un cilindro es:

$$A = \pi * D * \mathrm{L}$$

Ecuación (33).

Entonces nuestra ecuación queda así:

$$\frac{\mathrm{dQ}}{\mathrm{dt}} = H * \pi * D * \mathrm{L} * (T_1 - T_2)$$

Ecuación (34).

Es conveniente expresar la taza de calor por unidad de longitud, además aplicada a la temperatura del conductor "T_c" y la temperatura del medio ambiente "T_a", por lo tanto el calor por convección se expresa mejor así:

$$\boldsymbol{q_c} = H * \pi * D * (T_c - T_a)$$

Ecuación (35).

Recordemos que "H" se le denomina coeficiente de transferencia de calor por convección y se resuelve con la siguiente expresión:

$$H = \frac{k * C * Re^n * Pr^{1/3}}{D}$$

Ecuación (36).

Donde:

- k: Constante de proporcionalidad de conductividad térmica (watts/m .°C)
- C: Coeficiente experimental a partir del número de Reynolds.
- Re: Numero de Reynolds (adimensional).
- n: Coeficiente experimental a partir del número de Reynolds.
- Pr: Numero de Prandtl.

El Número de Reynolds "Re "es un valor que relaciona la densidad, viscosidad y velocidad de un flujo en una expresión adimensional. Este número mide el nivel de turbulencia que existe en un fluido, es decir si el número de Reynolds es pequeño quiere decir que el fluido es casi laminar mientras que si el número de Reynolds es alto entonces se trata de un fluido muy turbulento, para solucionar esto Osborne Reynolds (1842-1912), planteo la siguiente ecuación.

$$Re = \frac{\rho * v * D}{u_f}$$

Ecuación (37).

Donde:

- ρ: Densidad en unidades de $kg/m3$.
- v: Velocidad del fluido en m/s.
- D: Diámetro del cilindro en metros.
- u_f: Viscosidad del fluido en $kg/m.s$

Si con esta ecuación se ha determinado en Número de Reynolds entonces ya se puede seleccionar los valores que corresponde según la siguiente tabla que recoge valores experimentales.

Número de Reynolds "Re"	Coeficiente "C"	Coeficiente "n"
0.4-4	0.989	0.330
4-40	0.911	0.385
40-4000	0.683	0.466
4000-40000	0.193	0.618
40000-400000	0.0266	0.805

Tabla 3.2.3. Coeficientes de Reynolds.

Por otro lado tenemos el Número de Prandtl (Pr) que es un número adimensional y relaciona el nivel de viscosidad y el calor especifico con la difusividad térmica propuesta en 1920 por Ludwig Prandtl.

$$Pr = \frac{u_f * c}{k}$$

Ecuación (38).

Donde:

- u_f: Viscosidad del fluido en $kg.m$/s.
- c: Calor específico a presión constante del aire (1.01 kJ/kg.°C).
- k: Constante de proporcionalidad de conductividad térmica (watts.m /°C).

En muchas bibliografías estos factores (ρ, u_f, k) se consideran como constantes, e incluso existen tablas que las definen para ciertas condiciones medioambientales sin embargo para nuestro caso de estudio en donde se requiere que las ecuaciones apliquen para cualquier escenario, es indispensable que sean determinadas por ecuaciones que las representen según el requerimiento.

a. **Densidad del aire.-** Básicamente dependiente de la temperatura y presión atmosférica según la ecuación de estado de gases ideales tal como se observa en la siguiente ecuación:

$$P * V = \mathrm{n} * \mathrm{R} * \mathrm{T}$$

Ecuación (39).

Reemplazamos volumen por masa sobre densidad.

$$P * \frac{m}{\rho} = \mathrm{n} * \mathrm{R} * \mathrm{T}$$

Despejando la densidad.

$$\rho = \frac{P * m}{\mathrm{n} * \mathrm{R} * \mathrm{T}}$$

Pero como la cantidad de sustancia podría ser dada en masa en lugar de moles, a veces es útil dar una forma alternativa de la ley del gas ideal. El número de moles (n) es igual a la masa (m) dividido por la masa molar (M) del gas, por lo tanto la ecuación anterior queda así:

$$\rho = \frac{P * M}{R * \mathrm{T}}$$

Adicional a esto se sabe que la presión atmosférica para un diferencial de altura es:

$$dP = -\rho * g * dh$$

El signo negativo indica que hay una reducción de la presión por una diferencial de altura; de la ecuación de densidad tenemos:

$$dP = -\frac{P * M}{R * \mathrm{T}} * g * dh$$

Despejando dh e integrando en ambos miembros tenemos:

$$\int_{h_0}^{h_f} dh = \int_{P_0}^{P_f} -\frac{R * T}{P * M * g} dP$$

Eliminamos el logaritmo natural con la exponencial épsilon.

$$P_f = P_0 * e^{\frac{-M.g.h}{R.T}}$$

Ahora reemplazamos en la ecuación de densidad lo que resulta finalmente:

$$\rho = \frac{M * P_0}{R * \mathrm{T}} * e^{\frac{-M.g.h}{R.T}}$$

Sabiendo que la masa molar del aire (M) es 0.0289 kg/mol, la presión atmosférica a nivel del mar (P_0) es 101 325 pascales, la constante universal de gases (R) es 8.314 J/mol.K, y si consideramos contante la gravedad (g) en 9.78 m/s2, la ecuación anterior queda reducida a la siguiente expresión la cual solo depende de la altitud sobre el nivel del mar y la temperatura absoluta:

$$\rho = \frac{352.21 * e^{-0.03407 * \frac{h}{T}}}{T}$$

No debemos de olvidar que "h" representa la altitud en metros sobre el nivel del mar y que "T" es la temperatura del aire que se expresa en grados Kelvin y ya que estamos trabajando con grados Celsius es conveniente modificar la ecuación de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{352.21 * e^{-0.03407 * \frac{h}{273+T_a}}}{273 + T_a}$$

Ecuación (40).

b. Viscosidad dinámica del aire.-

La viscosidad es un término usado para clasificar un fluido con el grado de fricción o fuerza viscosa de la misma forma que se describe la fuerza de fricción por rugosidad de una superficie sólida, si se supone un flujo rodeando un cuerpo liso este factor es el causante de que la velocidad de flujo se reducida a cero en la superficie como resultado de la acción de viscosidad, ya que la velocidad de la capa de fluido sobre la pared será cero, el calor deberá

transferirse en aquel punto sólo por conducción, hecho que genera el término de capa limite.

Una forma práctica para determinar la viscosidad en un fluido es ofrecida por la norma IEEE 738.

$$u_f = \frac{1.458 * 10^{-6} * (T_{film} + 273)^{3/2}}{T_{film} + 383.4}$$

Ecuación (41).

Donde:

- T_{film}: Es la temperatura media en °C.

c. Constante de proporcionalidad de conductividad térmica.-

Como se comentó anticipadamente, es el factor que define la proporcionalidad de transferencia de calor por conducción térmica, es decir, no todos los materiales tienen la misma taza de transmisión de energía calorífica, como ya se sabe en general todos los materiales que son buenos conductores de la electricidad también son buenos conductores de energía calorífica por los electrones libres en su última capa, de forma inversa los aislantes que son malos conductores de la electricidad a la vez también son malos conductores térmicos.

La ecuación experimental que facilita este factor se define en la siguiente expresión polinómica:

$$k = 2.424 * 10^{-2} + 7.477 * 10^{-5} * T_{film} - 4.407 * 10^{-9} * {T_{film}}^2$$

Ecuación (42).

3.2.4 CORRIENTE-TEMPERATURA EN RÉGIMEN ESTABLE

Ahora que se han definido las pérdidas y ganancias de calor en el conductor ya se pude aplicar la ley de conservación de energía considerando una estabilidad de la temperatura en donde todo el calor que ingresa es igual a todo el calor que emana al exterior (Ecuación 09).

$$E_{in} = E_{out}$$

Como ya lo habíamos definido antes, el calor que ingresa es debido a los siguientes efectos:

- Calor por Efecto Joule (q_i).

$$q_i = I^2 * R(T_c)$$

- Calor por Radiación solar (q_s).

$$q_s = \alpha * Q_{se} * sen(\Theta) * A$$

Los calores perdidos o emanados por el conductor cuando se ha alcanzado la estabilidad térmica son:

- Calor perdido por radiación térmica (q_r).

$$q_r = 0.0178 * D * \alpha * \left[\left(\frac{T_c + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_a + 273}{100}\right)^4\right]$$

- Calor perdido por convección (q_c).

$$q_c = H * \pi * D * \mathrm{L} * (T_a - T_b)$$

Por lo tanto respetando la igualdad tenemos:

$$q_i + q_s = q_r + q_c$$

No olvidemos que nuestro objetivo principal es determinar la corriente eléctrica y la única variable que está relacionada con este componente es el Efecto Joule (q_i) por lo tanto pasamos a despejarlo:

$$q_i = q_r + q_c - q_s$$

$$I = \sqrt{\frac{q_r + q_c - q_s}{R(T_c)}}$$

Ecuación (43).

Como ya se habrán dado cuenta todas las variables de la ecuación anterior para determinar la ampacidad tienen algo en común a acepción del calor por radiación solar, las demás son dependientes de la temperatura del medio ambiente y de la temperatura del conductor, cabe destacar además que todos los calores están expresados en unidades de vatios por unidad de longitud (watts/m), de la misma forma la resistencia que se emplee debe de ingresarse con unidades de ohmios por metro (Ω/m) para que la dimensión de longitud se elimine con la del denominador y el resultado final se exprese en amperios.

3.3 MODELAMIENTO POR CORTO CIRCUITO

En la sección anterior se explicó el modelamiento de corriente temperatura para la determinación de la ampacidad en conductores aéreos en donde se consideró cuatro factores que representaban las pérdidas y ganancias de calor, en este apartado de la misma forma que en el caso anterior nos encargaremos en proponer una ecuación en donde se entregue la corriente en función de la temperatura, para ello acudiremos a dos métodos con la intención de hallar la corriente máxima que un conductor puede soportar sin sobrepasar la temperatura recomendada por el fabricante.

3.3.1 TIEMPO DE FALLA

Los tiempos de falla son intervalos que están limitados por el sistema de coordinación y la calibración de los equipos de protección y su importancia está justificada principalmente por los siguientes aspectos:

- Seguridad de las personas.
- Costos de reparación y mantenimiento.
- Confiabilidad y continuidad del sistema eléctrico.

Los tiempos de falla además dependen de los equipos a proteger, por ejemplo no es igual el tiempo de apertura si se trata de un motor, un transformador o una línea de transmisión, para resolver esto el intervalo de tiempo mínimo de coordinación entre escalón de protección está basado en la norma IEEE Std.242-

2001: IEEE Recommended Practice For Protection and Coordination of Industrial and Comercial Power Systems (IEEE Buf Book) la cual recomienda que el retardo esté en el rango de (200ms – 500ms), considerando principalmente el tiempo de apertura del interruptor, con un margen de seguridad para compensar los errores que pudieran presentarse en los valores estimados de corriente de falla, tiempo de operación de los relés y errores en los transformadores de corriente.

Por lo anterior, consideraremos el peor de los casos ante cualquier tipo de falla un tiempo de 500ms antes de la apertura de cualquier equipo de protección.

3.3.2 CORRIENTE-TEMPERATURA EN RÉGIMEN TRANSITORIO

En este nuevo escenario la idea principal es determinar la corriente de corto circuito máxima que el conductor puede soportar durante un determinado tiempo de falla la cual no debe de confundirse con la corriente de corto circuito real que técnicamente se pueda dar en un determinado sistema eléctrico aunque no es menos importante, justamente en muchas ocasiones se desea hallar la corriente de corto circuito que el conductor puede soportar y compararla con la corriente de falla real en el sistema con el propósito de comparar y verificar si es factible la instalación del conductor puesto en cuestionamiento, es decir, si la corriente de falla real en el sistema es mayor a la corriente máxima que el conductor puede soportar, entonces se deberá de seleccionar otro conductor de mayor sección hasta que la desigualdad se invierta, en el otro supuesto, si la corriente de falla es menor que la corriente máxima que el conductor pueda soportar entonces cabe la posibilidad de seleccionar otro conductor de menos sección siempre en cuando cumpla con la corriente en régimen estable (Ampacidad requerida) y otros aspectos mecánicos eléctricos según sea el requerimiento.

a. Método propuesto

Aclarado lo anterior presentaremos un método basado en la ecuación corriente temperatura definida en el ítem anterior con la diferencia de que en este caso se despreciara los efecto de radiación y convección térmica, ya

que el suceso de falla es muy corto (t≈500ms) por lo tanto no deja tiempo para la evacuación o ingreso de calor.

Por lo tanto nuevamente acudimos a la ley de conservación de energía con la diferencia de que en esta ocasión si existe una gradiente de energía interna producto del calor que ingresa al conductor, además, el término "W" no aplica ya que nuevamente el conductor no realiza un trabajo físico sobre el entorno.

$$Q = \Delta E_{int}$$

Ecuación (44).

Es decir, cuando se le agrega energía a una masa homogénea y no hay cambio de energías cinética o potencial, la temperatura de esta aumenta (Primera Ley de la termodinámica); tenga en cuenta que la temperatura del sistema podría cambiar mediante otros método de transferencia de energía, sin embargo en este estudio se analiza solamente la masa del conductor AAAC ya que anteriormente comentamos que la radiación y convección no tienen el tiempo suficiente para generar algún cambio importante, por ende no consideraremos transferencia de energía al exterior mientras que nos encontremos en el escenario de régimen transitorio y que la temperatura aumenta debido a la energía suministrada por el efecto joule producto de la corriente transitoria, la siguiente ecuación resume lo anterior.

$$\int_{t_0}^{t_f} q_i \, dt = m * c * \Delta T$$

Reemplazando la ecuación:

$$\int_{t_0}^{t_f} {I_{\mathrm{cc}}}^2 * R(T_c) \, dt = m * c * (T_{cc} - T_c)$$

Donde:

- q_i: Calor por efecto joule (Watts/m).
- I_{cc}: Corriente de corto circuito.

- t: Tiempo (segundos).
- m: Masa por unidad de longitud del conductor AAAC (kg/m).
- c: Calor especifico del aluminio (900 J/kg.°c).
- T_{cc}: Temperatura final del conductor ante un evento de corto circuito (°C).
- T_c: Temperatura del conductor antes del evento transitorio (°C).

Por la naturaleza física no involucra mayor dificultad de cálculo ya que ninguna variable depende del tiempo por tal motivo la integral se resuelve de la siguiente manera:

$$I_{cc} = \sqrt{\frac{m * c * (T_c - T_a)}{\left[\frac{R(T_h) - R(T_l)}{T_h - T_l}\right] * (T_c - T_l) + R(T_l)}}$$

Ecuación (45).

b. Método de International Electrotechnical Commission IEC 60949

La variación de temperatura debido a un evento transitorio es posible determinar con ayuda de la ecuación "Corriente-temperatura en régimen transitorio para condiciones adiabáticas (norma IEC 60949).

$$I_{cc} = 226 * \frac{A}{\sqrt{t}} * \sqrt{ln\left(\frac{234.5 + T_{cc}}{234.5 + T_c}\right)}$$

Ecuación (46).

I_{cc}: Corriente de falla trifásica (A).

A: Área efectiva del conductor (mm2).

t: Tiempo del transitorio (Seg).

Cabe destacar que la temperatura inicial "T_c" no puede ser considerada como temperatura de ambiente ya que ante un evento transitorio usualmente el conductor ya se encuentra a una cierta temperatura por condiciones normarles de operación, por tal motivo definimos la temperatura inicial con la temperatura máxima que asigna el fabricante de conductores AAAC en

condiciones normales, es decir desde 75°C, mientras que la temperatura final del conductor podrá ser asignada sin ningún problema con la temperatura máxima que el fabricante recomienda ante una corriente de corto circuito "T_{cc}" la cual está alrededor de los 240°C.

3.4 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

3.4.1 BASES DE CÁLCULO

Para el proceso de cálculo consideraremos como escenario principal la Planta Concentradora de **Sociedad Minera de Cerro Verde (SMCV)** Ubicada en la Ciudad de Arequipa al Sur del Perú la cual está dotada de numerosas líneas de transmisión y a diferentes niveles de tensión.

Por lo expuesto, seleccionaremos la línea que alimenta las subestaciones de 34.5 kV las cuales se ramifican para alimentar al proyecto CONSTRUCTION POWER FOR THE CONCENTRATOR PLANT AND WWTP AREA con conductores de 750 KCM AAAC según su alcance y área a alimentar en donde sus principales características son las siguientes:

a. Consideraciones físicas del conductor

- Conductor aéreo: AAAC
- Sección del conductor: 380mm2
- Diámetro del conductor (380 mm2): 25.35 mm
- Temperatura nominal del conductor: 75 °C
- Emisividad (0,23 a 0,91): 0.5
- Absortividad solar (0,23 a 0,91): 0.5
- Resistencia en DC a 20°C (380 mm2): 0.0756 Ω/km
- Resistencia en AC a 75°C (380 mm2): 0.0937 Ω/km

b. Consideraciones medio ambientales

Para la zona establecida se han realizado estudios de medio ambiente y condiciones climatológicas correspondientes al proyecto de expansión de

Cerro Verde en donde los valores rescatables para nuestro proceso de cálculo son los siguientes:

- Mes de mayor incidencia solar: Septiembre (270 días)
- Hora del día de mayor incidencia solar: 12:00 hh
- Temperatura de ambiente mínima absoluta: 10°C
- Temperatura de ambiente máxima absoluta: 30°C
- Velocidad mínima del viento (IEEE Std 738 2006): 0.61 m/s
- Velocidad máxima del viento: 27.77m/s
- Altura sobre el nivel del mar: 2700 msnm
- Latitud: 16.5°

3.4.2 AMPACIDAD A CONDICIONES DE REFERENCIA

Como se trató en el ítem 3.2 sobre el concepto de generación, ganancia y perdida de calor, de igual manera se empleara tal método para determinar la ampacidad que se desea saber correspondiente a la línea de transmisión de potencia AAAC de 750 KCM.

a. Generación de calor

Como consecuencia del normal funcionamiento de una línea de transmisión se tiene que asumir algunos porcentajes de pérdidas de energía y que en general se manifiestan como aumentos de la temperatura debido a diferentes factores tales como:

Transferencia de calor por efecto joule (q_i).

Para determinar las pérdidas de la línea acudiremos a la ecuación 10.

$$q_i = I^2 * R(T_c)$$

La variación de la temperatura es considerada para determinar la resistencia por lo que nos apoyamos en la ecuación 12, la cual requiere previamente insertar las resistencias para cada temperatura ya que es el método más preciso.

$$R(T_c) = \left[\frac{R(T_h) - R(T_l)}{T_h - T_l}\right] * (T_c - T_l) + R(T_l)$$

De la base de cálculo extraemos la información requerida, de esta manera la expresión anterior queda de la siguiente manera.

$$R(T_c) = \left[\frac{0.0937\ - 0.0756}{75 - 30}\right] * (T_c - 30) + 0.0756$$

Desarrollando tenemos:

$$R(T_c) = 4.022 * 10^{-4} * T_c + 0.0635$$

Si las resistencias a diferentes temperaturas hubiesen sido medidas a corriente continua se debería de utilizar el factor para compensar el efecto piel, sin embargo no es el caso por lo cual procedemos a remplazar en la ecuación principal.

$$q_i = I^2 * (4.022 * 10^{-4} * T_c + 0.0635)$$

Como se puede apreciar, la ecuación anterior relaciona el calor generado por efecto joule con la corriente y temperatura del conductor lo que hace posible relacionarla con las demás ecuaciones en una sola función salvo el calor por radiación solar.

Para una temperatura del conductor "T_c" de 75°C, el calor generado por efecto joule tiene el siguiente valor numérico.

$$q_i = I^2 * 0.0937\ w/km$$

Ha de recordarse que la resistencia es un valor proporcionado por el fabricante y usualmente se entrega en Ω/km, razón por la cual la expresión anterior debemos de modificarla a potencia por unidad de longitud.

$$q_i = I^2 * 0.0937 * 10^{-3}\ w/m$$

Solo en este caso la corriente eléctrica está lista para ser despejada, por lo que habrá que esperar la determinación de las ganancias y pérdidas de calor del conductor AAAC.

b. Ganancia de calor

Transferencia de calor por radiación positiva (q_s).-

Para determinar la transferencia de calor por radiación positiva nos apoyaremos en la ecuación 18.

$$q_s = \alpha * Q_{se} * sen(\Theta) * A$$

La primera variable de la ecuación es la constante de Absortividad el cual ya fue definido en 0.5 por recomendaciones de fabricantes.

Ahora determinaremos el siguiente elemento que es el flujo de calor corregido

Hallando "Q_{se}" Citando la ecuación 19:

$$Q_{se} = K_{solar} * Q_s$$

El factor K_{solar} es corregido para una altitud de 2700msnm, para lo cual acudimos a la ecuación 20.

$$K_{solar} = 1 + 1.148 * 10^{-4} * H_e - 1.108 * 10^{-8} * {H_e}^2$$

Reemplazando la altitud tenemos:

$$K_{solar} = 1 + 1.148 * 10^{-4} * 2700 - 1.108 * 10^{-8} * 2700^2$$

Lo cual resulta:

$$K_{solar} = 1.229$$

Ahora es turno de hallar Q_s que representa al flujo de calor incidente a nivel del mar, dicha densidad de flujo de calor solar a nivel del mar depende tanto de la altura del sol y la claridad atmosférica como se puede ver en el siguiente polinomio (Ecuación 21):

$$Q_s = A + B * H_c + C * {H_c}^2 + D * {H_c}^3 + E * {H_c}^4 + F * {H_c}^5 + G * {H_c}^6$$

Las letras A, B, C, D, E, F y G las cuales son constantes determinadas experimentalmente de acuerdo a dos opciones que se refieren para cuando se trata de una atmosfera limpia o industrial; Como SMCV se encuentra a dos horas de la Provincia de Arequipa podemos afirmar que tal zona se encuentra libre de emisiones de gases que opaquen el atmosfera.

Reemplazando las constantes tenemos:

$$\begin{aligned} Q_s = & -42.2391 + 63.8044 * H_c - 1.9220 * {H_c}^2 + 3.46921 * 10^{-2} \\ & * {H_c}^3 - 3.61118 * 10^{-4} * {H_c}^4 + 1.94318 * 10^{-6} \\ & * {H_c}^5 - 4.07608 * 10^{-9} * {H_c}^6 \end{aligned}$$

De la ecuación anterior quedaba pendiente la determinación de "H_c" que representa la altitud solar (Ecuación 22):

$$H_c = asin[cos(Lat) * cos(\delta) * cos(\omega) + sin(Lat) * sin(\delta)]$$

La latitud "Lat" la cual según la base de cálculo es de 16.5°, sin embargo aún falta determinar el factor de declinación solar "δ" por medio de la ecuación 23:

$$\delta = 23.4583 * \left[\frac{284 + N}{365} * 360\right]$$

En donde N es 270 según la base de cálculo:

$$\delta = 23.4583 * \left[\frac{284 + 270}{365} * 360\right]$$

Lo que resulta:

$$\delta = -2.619°$$

La hora ángulo del sol "ω" se debe de expresar con la ecuación 24:

$$\omega = 15 * (h - 12)$$

Del estudio medioambiental rescatamos que la mayor incidencia solar se daba a medio día cuando "h" es 12:00hh, lo cual resulta:

$$\omega = 0°$$

Con todo esto "H_c" tendría resuelta sus variables:

$$H_c = asin[cos(16.5°) * cos(-2.619°) * cos(0°) + sin(16.5°) * sin(-2.619°)]$$

Resolviendo tenemos:

$$H_c = 70.881$$

Con estos datos ya calculados el flujo de calor incidente es:

$$Q_s = 994.426 \text{ w/m2}$$

De la ecuación principal, el ángulo efectivo de incidencia solar "Θ" es calculado con la ecuación 25:

$$\theta = acos[\cos(H_c) * \cos(Z_c - 90°)]$$

Donde "H_c" ya fue calculado quedando pendiente la azimut del sol "Z_c" la cual se determina con la ecuación 26:

$$Z_c = \arctan(\chi) + C$$

Con la información anterior puede hallarse "χ" si recordamos la ecuación 27:

$$\chi = \frac{\sin(\omega)}{\sin(\text{Lat}) * \sin(\omega) - \cos(Lat) * \tan(\delta)}$$

Reemplazando valores ya determinados:

$$\chi = \frac{\sin(0)}{\sin(16.5°) * \sin(0) - \cos(16.5) * \tan(-2.619°)}$$

Resolviendo tenemos:

$$\chi = 0$$

Para determinar "C" es cuestión de observar la Tabla 3.2.2.c. Que al comparar los valores determinados anteriormente tendríamos que

$$C = 180°$$

Por lo anterior:

$$Z_c = \arctan(0°) + 180°$$

Resolviendo tenemos que:

$$Z_c = 180°$$

Reemplazando las variables en la ecuación de la incidencia solar "Θ" queda resuelta de la siguiente manera:

$$\theta = acos[\cos(70.881) * \cos(180° - 90°)]$$

Lo que resulta:

$$\theta = 90°$$

Retornando a la ecuación que determina el calor ganado por radiación solar y reemplazando las variables antes obtenidas, además, recordando que "A" es el área efectiva por unidad de longitud y que su valor es 0.02535 m2/m, por lo tanto tenemos:

$$q_s = 0.5 * 1.229 * 994.426 * sen(90) * 0.02535$$

Finalmente tenemos:

$$q_s = 15.493\ w/m$$

c. Perdidas de calor

Transferencia de calor por radiación negativa (q_r).-

Nuevamente acudiremos a la ecuación 30:

$$q_r = 0.0178 * D * e * \left[\left(\frac{T_c + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_a + 273}{100}\right)^4\right]$$

La Emisividad "e" tomaba el valor de 0.5, además, de la base de cálculo extraemos los valores que requerimos para resolver la ecuación anterior

El diámetro del conductor para un conductor AAAC de 750 KCM es:

$$D = 25.35mm$$

La temperatura nominal del conductor según el fabricante es:

$$T_c := 75°C$$

La temperatura ambiente para el escenario escogido es:

$$T_a = 30°C$$

Por lo anterior reemplazamos los datos en la ecuación de Stefan.

$$q_r = 0.0178 * 25.35 * 0.5 * \left[\left(\frac{75° + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{30° + 273}{100}\right)^4\right]$$

Fácilmente obtenemos el calor por radiación perdido de:

$$q_r = 14.072\ w/m$$

Transferencia de calor por convección (q_c).-

Para el cálculo de transferencia de calor por el fenómeno de convección, es conveniente informar que la norma IEEE así como los fabricantes de conductores aéreos AAAC y ACAR recomiendan hacer el cálculo de transferencia de calor por convección forzada para una velocidad de 0.61m/s, La siguiente formula expresa la taza de calor en watts por unidad de longitud rescatada de la ecuación 35:

$$\boldsymbol{q_c} = H * \pi * D * (T_c - T_a)$$

No hay ningún problema en reemplazar los datos de la ecuación anterior ya que como se manifestó en el ítem 3.2, "D" es el diámetro del conductor el cual tiene un valor numérico de 25.35mm para nuestro caso particular, mientras "T_c" representa la temperatura del conductor con un valor de 75°C

y "T_a" expresa la temperatura de ambiente definido en la base de cálculo con 30°C, sin embargo el problema se centra en determinar principalmente el coeficiente de transferencia de calor por convección "H", para ello se tiene la ecuación 36:

$$H = \frac{k * C * Re^n * Pr^{1/3}}{D}$$

En el apartado anterior se observó que es conveniente determinar primeramente los parámetros característicos del aire por lo tanto iniciaremos con la densidad del aire:

Densidad del aire:

De la ecuación 40, tenemos lo siguiente:

$$\rho = \frac{352.21 * e^{-0.03407 * \frac{h}{273+T_a}}}{273 + T_a}$$

Donde "h" son los metros sobre el nivel del mar de 2700msnm y "T" es la temperatura ambiente de 30°C para nuestro caso en particular.

Reemplazando:

$$\rho = \frac{352.21 * e^{-0.03407 * \frac{2700}{273+30}}}{273 + 30}$$

Entonces la densidad queda expresada con el siguiente valor:

$$\rho = 0.858 kg/m3$$

Viscosidad dinámica del aire:

Acudimos a la ecuación 41 para definir la siguiente expresión:

$$u_f = \frac{1.458 * 10^{-6} * (T_{film} + 273)^{3/2}}{T_{film} + 383.4}$$

La viscosidad del aire relaciona dos elementos los cuales son el aire y la superficie del conductor por ello "T_{film}" debe de incluir la temperatura del aire y la temperatura del conductor:

$$T_{film} = \frac{75°\text{C} + 30°\text{C}}{2}$$

La temperatura media resulta ser:

$$T_{film} = 52.5°C$$

Por lo anterior la viscosidad del aire resulta ser:

$$u_f = 1.964 * 10^{-5} pa.s$$

Constante de proporcionalidad de conductividad térmica:

La ecuación experimental que facilita este factor se define con la siguiente expresión polinómica (Ecuación 42):

$$k = 2.424 * 10^{-2} + 7.477 * 10^{-5} * T_{film} - 4.407 * 10^{-9} * {T_{film}}^2$$

La temperatura media permanece con el mismo concepto en esta nueva ecuación, por lo tanto la constante de proporcionalidad de conductividad térmica resulta ser:

$$k = 2.815 * 10^{-2} w/m.°C$$

Ya definido los parámetros que caracterizan el aire podemos determinar el Número de Reynolds "Re "con la ecuación 37:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{u_f}$$

Afortunadamente todos los valores fueron definidos previamente, por lo tanto el número de Reynolds queda de la siguiente manera:

$$Re = \frac{0.858 * 0.61 * 0.02535}{1.964 * 10^{-5}}$$

Resolviendo tenemos que:

$$Re = 675.54$$

Con este valor recurrimos a la tabla 3.2.3:

Número de Reynolds "Re"	Coeficiente "C"	Coeficiente "n"
0.4-4	0.989	0.330
4-40	0.911	0.385
40-4000	0.683	0.466
4000-40000	0.193	0.618
40000-400000	0.0266	0.805

Tabla 3.2.3. Coeficientes de Reynolds.

De la selección de valores de la tabla tenemos que:

$$C = 0.683$$

Además:

$$n = 0.466$$

Con estos datos vamos a determinar el Número de Prandtl (Pr) con la ecuación 38:

$$Pr = \frac{u_f * c}{k}$$

Reemplazando los valores:

$$Pr = \frac{1.964 * 10^{-5} * 1010}{2.815 * 10^{-2}}$$

Entonces el número de Prandtl queda así:

$$Pr = 0.705$$

Regresando a la ecuación para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección y reemplazando valores tenemos:

$$H = \frac{2.815 * 10^{-2} * 0.683 * 651.56^{0.466} * 0.705^{1/3}}{0.02535}$$

Finalmente tenemos el valor numérico es:

$$H = 13.818\, w/m2.°C$$

Ya definido el factor "H" podemos determinar la taza de transferencia de calor por convección forzada.

$$\boldsymbol{q_c} = 13.818 * \pi * 0.02535 * (75 - 30)$$

Resolviendo tenemos:

$$\boldsymbol{q_c} = 49.52\, w/m$$

d. Ampacidad.

Ahora que se han definido las pérdidas y ganancias de calor en el conductor ya se pude aplicar la ley de conservación de energía considerando una estabilidad de la temperatura en donde todo el calor que ingresa es igual a todo el calor que emana al exterior.

$$E_{in} - E_{out} = 0$$

$$E_{in} = E_{out}$$

Según lo definido anteriormente tenemos:

$$q_i + q_s = q_r + q_c$$

Definiendo los calores:

- Calor por Efecto Joule (q_i).

$$q_i = I^2 * 0.0937\ * 10^{-3}\, w/m$$

- Calor por Radiación solar (q_s).

$$q_s = 15.493\, w/m$$

- Calor perdido por radiación térmica (q_r).

$$q_r = 14.072\, w/m$$

- Calor perdido por convección (q_c).

$$q_c = 49.52\ w/m$$

Por lo tanto respetando la igualdad y reemplazando valores tenemos:

$$I^2 * 0.0937\ * 10^{-3} + 15.493 = 14.072\ + 49.52$$

Despejando la variable dependiente (Ecuación 43):

$$I = \sqrt{\frac{14.072 + 49.52 - 15.493}{0.0937 * 10^{-3}}}$$

Finalmente desarrollamos la ecuación obtenemos la ampacidad del conductor AAAC de 750 KCM para una temperatura de 75°C y las condiciones medioambientales descritas en la base de cálculo.

$$I = 715.747\ Amp$$

Según la hoja de datos de conductores AAAC de la marca "SURAL", la ampacidad para un conductor con las mismas características físicas pero a condiciones medioambientales definidas por el mismo catalogo es de 847 Amp, lo cual es un 18.0 % más de lo calculado.

3.4.3 FACTIBILIDAD POR CORRIENTE DE FALLA

La línea que alimenta las subestaciones de 34.5 kV las cuales se ramifican para alimentar al proyecto CONSTRUCTION POWER FOR THE CONCENTRATOR PLANT AND WWTP AREA con conductores de 750 KCM AAAC según su estudio de corto circuito arrojan un valor de 17kA y según la norma IEEE Std.242-2001: IEEE Recommended Practice For Protection and Coordination of Industrial and Comercial Power Systems (IEEE Buf Book) la cual recomienda que el retardo de tiempo de despeje de falla esté en el rango de (200ms – 500ms), sin embargo nosotros optaremos por el más crítico para garantizar la buena elección del conductor, por lo anterior:

Datos de entrada:

- Corriente de falla: 17kA

- Tiempo de para despeje de falla: 500ms
- Temperatura inicial: 75°C
- Temperatura final: 240°C

Con estos datos de entrada la idea es determinar la sección mínima del conductor que soporte estas condiciones, por ello acudiremos al apoyo de la ecuación 46 “Corriente-temperatura en régimen transitorio para condiciones adiabáticas (norma IEC 60949).

$$I_{cc} = 226 * \frac{A}{\sqrt{t}} * \sqrt{ln\left(\frac{234.5 + T_{cc}}{234.5 + T_c}\right)}$$

Despejando la sección “A” tenemos:

$$\frac{1}{A} = \frac{226}{I_{cc} * \sqrt{t}} * \sqrt{ln\left(\frac{234.5 + T_{cc}}{234.5 + T_c}\right)}$$

Ahora reemplazaremos los datos de entrada:

$$\frac{1}{A} = \frac{226}{17000 * \sqrt{0.5}} * \sqrt{ln\left(\frac{234.5 + 240}{234.5 + 75}\right)}$$

Resolviendo la sección “A” resulta ser:

$$A = 123.47\ mm2$$

El resultado obtenido representa la sección mínima que debería de considerarse para las condiciones de falla descritas anticipadamente, sin embargo el caso de estudio se seleccionó un conductor de 750 KCM que equivale a 380mm2 lo cual está por encima del valor calculado, por lo tanto es factible la instalación.

CAPITULO IV

4 MARCO METODOLOGICO Y COMPROBACION DE RESULTADOS

4.1 MARCO METODOLOGICO

La presente investigación se desarrolló basado en el principio de la conservación de energía, es decir, la energía no se crea ni se destruye, sino se transforma. Esto nos lleva a establecer la primera ecuación en donde se observa que existe una igualdad entre el calor que ingresa y el calor que se pierde, se analiza todos los factores que puedan intervenir en menor y mayor medida, de estos factores se seleccionan los más resaltantes como son el calor emanado por radiación electromagnética y el calor ganado por radiación electromagnética de otros cuerpos, posteriormente se incluye el calor perdido por convección o también conocido por enfriamiento y por último se considera el calor ganado por efecto joule. Como bien sabemos cada uno de estos factores son independientes entre sí ya que el calor es un valor escalar fácilmente pueden ser analizados por separado tal como se describió en el capítulo anterior, es decir, no necesariamente debe de respetarse la secuencia anterior pero si la secuencia contenida en cada uno de los factores analizados. A continuación describiremos un diagrama de flujo de la secuencia propuesta para el desarrollo de los algoritmos de esta investigación.

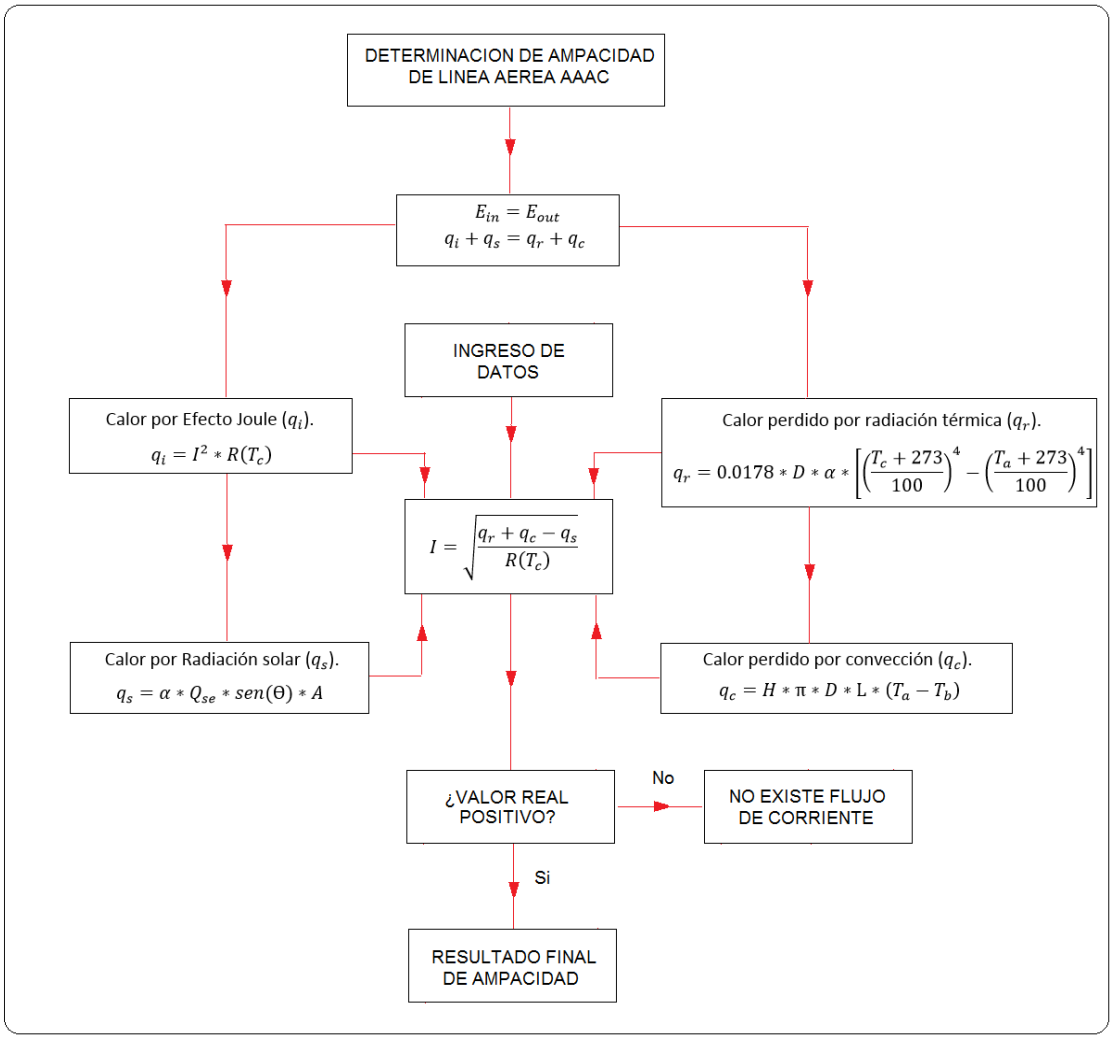

Figura 4.1. Diagrama de flujo de desarrollo para la determinación de la Ampacidad.

4.2 COMPROBACION

El valor de ampacidad obtenido no tiene garantía si no se comprueba que las ecuaciones planteadas emiten resultados confiables con un error porcentual aceptable, por ello en este ítem nos dedicaremos a determinar la ampacidad para el mismo conductor y para las mismas condiciones medioambientales que se indican en el catálogo de conductores AAAC "SURAL" y posteriormente hacer la comparación con el valor experimental que este ofrece.

Desde ya el valor de ampacidad experimental "I_e" es de 847 Amp (Ver anexo 1: catálogo de conductores AAAC "SURAL"), ahora solo queda calcular el valor teórico bajo las condiciones siguientes:

- Radiación solar: 1033 w/m2
- Temperatura de ambiente máxima absoluta: 25 °C
- Velocidad mínima del viento: 0.61 m/s
- Altura sobre el nivel del mar: 0 msnm

Recordando los valores físicos para el conductor de 750 KCM, AAAC.

- Sección del conductor: 380mm2
- Diámetro del conductor (380 mm2): 25.35 mm
- Temperatura nominal del conductor: 75 °C
- Emisividad (0,23 a 0,91): 0.5
- Absortividad solar (0,23 a 0,91): 0.5
- Resistencia en DC a 20°C (380 mm2): 0.0756 Ω/km
- Resistencia en AC a 75°C (380 mm2): 0.0937 Ω/km

Siguiendo la misma metodología anterior:

$$q_i + q_s = q_r + q_c$$

Definiendo los calores:

- Calor por Efecto Joule (q_i).

$$q_i = I^2 * 0.0937 \ * 10^{-3} \ w/m$$

- Calor por Radiación solar (q_s).

$$q_s = 13.093 \ w/m$$

- Calor perdido por radiación térmica (q_r).

$$q_r = 15.297 \ w/m$$

- Calor perdido por convección (q_c).

$$q_c = 65.010 \ w/m$$

Por lo tanto respetando la igualdad y reemplazando valores tenemos:

$$I^2 * 0.0937 \ * 10^{-3} + 15.493 = 14.072 \ + 49.52$$

Despejando la variable dependiente:

$$I_t = \sqrt{\frac{15.297 + 65.010 - 13.093}{0.0937 * 10^{-3}}}$$

Finalmente desarrollamos la ecuación obtenemos la ampacidad teórica "I_t" del conductor AAAC de 750 KCM para una temperatura de 75°C y las condiciones medioambientales referidas del catálogo "SURAL".

$$I_t = 846.954 \ Amp$$

4.2.1 COMPARACIÓN CON AMPACIDAD DEL CATALOGO

Ahora podemos comparar el valor de ampacidad teórico calculado "I_t" con la ampacidad experimental "I_e" que el catalogo ofrece:

Recordando que el error porcentual es:

$$e\% = \frac{I_t - I_e}{I_e} * 100\%$$

Reemplazando:

$$e\% = \frac{846.954 - 847.000}{847.00} * 100\%$$

Resolviendo tenemos:

$$e\% = 5.43 * 10^{-3}\%$$

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Es muy importante conocer la corriente nominal que puede soportar una línea de transmisión, sobre todo si es una importante vía para el suministro eléctrico de una ciudad o de algún pueblo lejano a la fuente de energía, por ello, de acuerdo a los resultados obtenidos podemos afirmar que de no haber considerado las

ecuaciones de ampacidad, seguramente se hubiese tomado como referencia la ampacidad que ofrece el catálogo, lo cual es un 18% mayor al calculado, bajo este escenario el conductor estaría a una temperatura de 90.3 °C y que en consecuencia generaría dilataciones peligrosas que aumentasen el flechado incrementando las probabilidades de un contacto entre fases o sobrepasando la distancia de seguridad que señala la normativa nacional dependiendo del nivel de tensión y la ubicación de la línea.

Así como se puede determinar la ampacidad para una temperatura de 75 °C es también factible determinar la corriente para diferentes temperaturas menores a esta, sin embargo, existe un límite mínimo de temperatura la cual es superior a la temperatura de ambiente ya que de por sí sola (Corriente cero) la línea ganaría calor por efecto de la radiación solar ya que esta es superior a la suma del efecto por convección y radiación térmica del cuerpo dándose al final una temperatura de 41.4 °C, es decir, sería teóricamente imposible que existiese un flujo de corriente por la línea para temperaturas menores a esta.

CAPITULO V

5 SIMULACIÓN EN MATLAB

Como se pudo percatar, el cálculo para determinar la ampacidad es demasiado extenso, lo cual puede provocar errores numéricos a medida que se desarrolla el ejercicio.

Para aliviar esto, en este capítulo se entrega las facilidades para la programación en el software MATLAB ya que es muy conocido y accesible para nuestros intereses.

5.1 PROGRAMACIÓN

Para nuestro propósito utilizaremos el MATLAB R2013a que en realidad no tiene nada de especial para alcanzar nuestro objetivo ya que fácilmente otras versiones pasadas podrían asumir sin ningún problema los algoritmos que deseamos ingresar.

Para empezar activamos el espacio de trabajo m-file que nos permite redactar los comandos y ecuaciones según nuestro criterio, seguidamente creamos las ecuaciones descritas anteriormente pero moldeándolas para que sean reconocidas por el software tal como se aprecia líneas abajo:

Determinación del calor por convección.

```
Uf=(1.458*10^-6*((Tc+Ta)/2+273)^1.5/((Tc+Ta)/2+383.4))
p=(1.293-1.525*10^-4*He+6.379*10^-9*He^2)/(1+0.00367*(Tc+Ta)/2)
Kf=2.424*0.01+7.477*10^-5*(Tc+Ta)/2-4.407*10^-9*((Tc+Ta)/2)^2
Qc1=(1.01+0.0372*(p*D*V/Uf)^0.52)*Kf*(Tc-Ta)
Qc2=(0.0119*(D*p*V/Uf)^.6)*Kf*(Tc-Ta)
Qc=max(Qc1,Qc2)
```

Determinación del calor por radiación.

```
Qr=0.0178*D*e*(((273+Tc)/100)^4-((273+Ta)/100)^4)
```

Determinación del calor por radiación solar.

w=15*(h-12)

d=23.4583*sind((284+N)/365*360)

Hc=asin(cosd(Lat)*cosd(d)*cosd(w)+sind(Lat)*sind(d))*180/3.14159

X=(sind(w)/(sind(Lat)*cosd(w)-cosd(Lat)*tand(d)))

Comando para discriminar:

```
if X*w<0
  C=0
else
   C=180
end
```

Zc=C+180/pi*atan(X)

O=acos(cosd(Hc)*cosd(Zc-90))*180/3.14159

Ksol=1+1.148*10^-4*He-1.108*10^-8*He^2

Qs=-42.2391+63.4044*Hc-1.922*Hc^2+3.46921*0.01*Hc^3-3.61118*10^-4*Hc^4+1.94318*10^-6*Hc^5-4.07608*10^-9*Hc^6

Qse=Ksol*Qs

A=D/10^3

qs=a*Qse*sind(O)*A

Determinación del calor por efecto joule.

R=Rl+((Rh-Rl)/(75-20))*(Tc-20)

Determinación de la ampacidad

I=((Qc+Qr-qs)/R*10^3)^.5

5.2 INGRESO DE DATOS

Para el ingreso de datos se deberá de respetar la simbología ya que la misma conversa con la programación expuesta líneas arriba, los datos coinciden con el problema anterior:

Diámetro del conductor

- D=25.35

Velocidad del viento

- V=0.61

Temperatura del conductor

- Tc=75

Temperatura de ambiente

- Ta=30

Altitud

- He=2700

Emisividad

- e=0.5

Absortividad

- a=0.5

Latitud

- Lat=16.5

Día del año

- N=270

Hora del día

- h=12

Resistencia a baja temperatura (20°C)

- Rl=0.0756

Resistencia a alta temperatura (75°C)

- Rh=0.0937

La programación completa se podrá extraer del Anexo 2 en donde basta copiar todo el enunciado y pegar en el espacio del m-file del MATLAB, una vez pegado se deberá de correr la programación o presionar F5, posteriormente en el espacio de trabajo se imprimirá las variables de entrada para que pueda ingresar las características físicas del conductor y las condiciones medioambientales, si ingresa satisfactoriamente todos los datos de entrada el MATLAB emitirá el resultado de Ampacidad para el conductor que selecciono.

5.3 RESULTADOS

Si se ingresó correctamente los comandos y lo datos se deberá de obtener el mismo valor calculado en el ítem 3.5.2, es decir un valor de 715.747 Amp; La programación permite además, obtener resultados más rápidamente y gracias a esto se puede emitir la tabla que enfrenta temperatura y corriente tal como se aprecia seguidamente:

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 750 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.082	11.004	2.638	15.493	Error	407.427
41	0.083	12.104	2.916	15.493	Error	426.652
42	0.083	13.204	3.196	15.493	104.623	444.939
43	0.083	14.303	3.480	15.493	165.918	462.399
44	0.083	15.402	3.766	15.493	209.790	479.126
45	0.084	16.501	4.055	15.493	245.756	495.195
46	0.084	17.600	4.346	15.493	276.917	510.668
47	0.084	18.699	4.641	15.493	304.753	525.601
48	0.085	19.798	4.938	15.493	330.108	540.039
49	0.085	20.896	5.238	15.493	353.519	554.021
50	0.085	21.995	5.540	15.493	375.350	567.584
51	0.086	23.093	5.846	15.493	395.865	580.756
52	0.086	24.191	6.154	15.493	415.260	593.565
53	0.086	25.290	6.465	15.493	433.688	606.036
54	0.087	26.388	6.780	15.493	451.268	618.189
55	0.087	27.485	7.097	15.493	468.097	630.043
56	0.087	28.583	7.416	15.493	484.254	641.617
57	0.088	29.681	7.739	15.493	499.806	652.926
58	0.088	30.778	8.065	15.493	514.809	663.985
59	0.088	31.876	8.394	15.493	529.310	674.806
60	0.089	32.973	8.726	15.493	543.352	685.401
61	0.089	34.071	9.060	15.493	556.968	695.782
62	0.089	35.168	9.398	15.493	570.192	705.959
63	0.090	36.265	9.739	15.493	583.050	715.941
64	0.090	37.362	10.083	15.493	595.568	725.736
65	0.090	38.459	10.430	15.493	607.766	735.354
66	0.091	39.555	10.780	15.493	619.665	744.802
67	0.091	40.652	11.133	15.493	631.283	754.086
68	0.091	41.749	11.489	15.493	642.635	763.214
69	0.092	42.845	11.849	15.493	653.736	772.190
70	0.092	43.942	12.211	15.493	664.600	781.022
71	0.092	45.038	12.577	15.493	675.238	789.715
72	0.093	46.134	12.946	15.493	685.662	798.274
73	0.093	47.231	13.318	15.493	695.882	806.703
74	0.093	48.327	13.694	15.493	705.907	815.007
75	0.094	49.423	14.072	15.493	715.747	823.190
76	0.094	50.519	14.454	15.493	725.410	831.257
77	0.094	51.615	14.840	15.493	734.902	839.212
78	0.095	52.711	15.228	15.493	744.232	847.057
79	0.095	53.806	15.620	15.493	753.406	854.797
80	0.095	54.902	16.015	15.493	762.430	862.435

Tabla 5.3. Resultados de Ampacidad de conductor AAAC de 750 KCM.

Esta exquisita información entrega todos los escenarios de corriente para todas las temperaturas comprendidas entre 42 y 75 °C, recordemos que para temperaturas menores a 41.4 °C se generaba un error por el hecho de que la radiación solar de por si era superior a la suma del efecto por convección y radiación térmica del cuerpo dándose al final una temperatura por encima de la temperatura de ambiente sin la necesidad de un flujo de corriente.

El comportamiento de la corriente en función de la temperatura es visible en la siguiente curva:

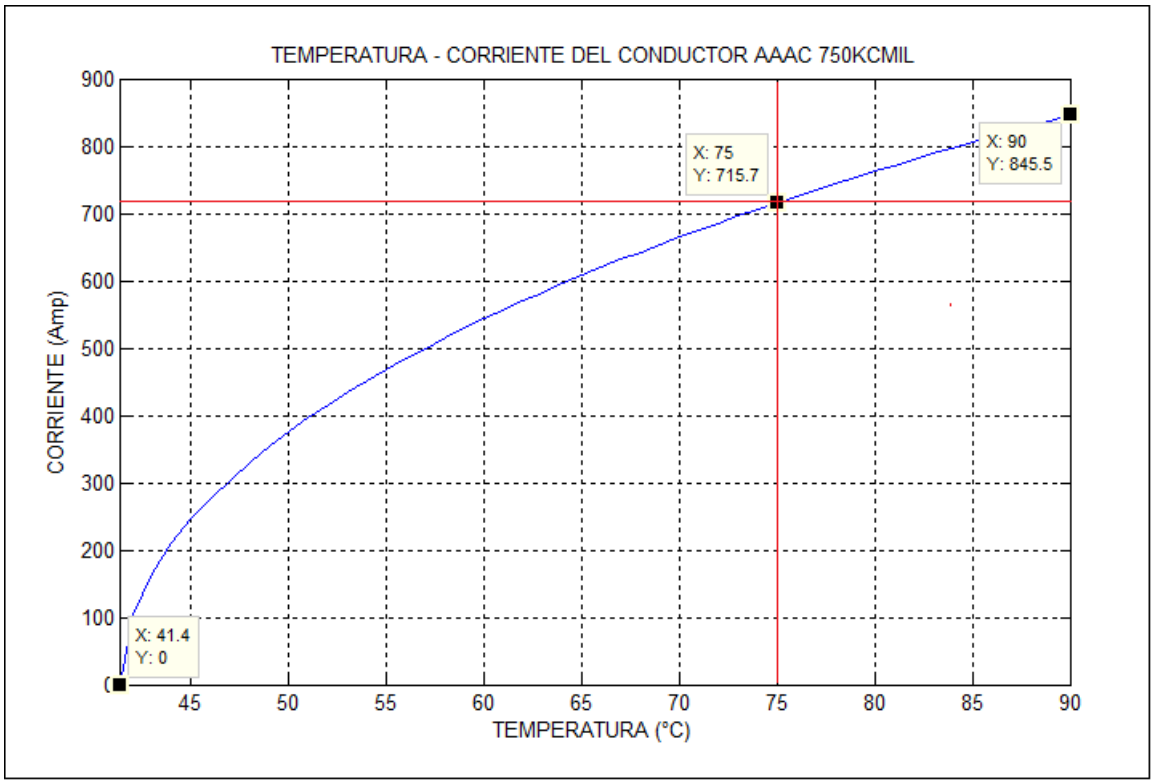

Figura 5.3. Curva de Ampacidad de conductor AAAC de 750 KCM.

Nótese de la curva anterior que el comportamiento no es lineal y que para una corriente cero la temperatura corresponde a 41.4°C, además, para una corriente según la ampacidad del catálogo de 847 Amp la temperatura es superior a los 90°C

CONCLUSIONES

- Se logró determinar satisfactoriamente la ampacidad de un conductora AAAC, ya que en la comprobación, los resultados calculados comparados con los resultados del catálogo obtuvieron un error del $5.43 * 10^{-3}\%$ para el mismo conductor y las mismas condiciones medioambientales.
- La implementación del software MATLAB R2013a se adaptó satisfactoriamente por su flexibilidad para la inserción de los algoritmos que determinan la ampacidad para cualquier diámetro de conductor AAAC, la programación se puede observar en el Anexo 2.
- La creación de tablas de ampacidad para conductores AAAC para temperaturas que van desde 40°C hasta los 80°C se desarrollaron con éxito, estas tablas son de gran ayuda para los que deseen obtener resultados inmediatos de ampacidad para una línea de transmisión de potencia ubicada en la ciudad de Arequipa sin necesidad de analizar las ecuaciones desarrolladas en esta tesis. Las tablas de ampacidad pueden observarse en el Anexo 3.

RECOMENDACIONES

- Los algoritmos para determinar la ampacidad son factibles para conductores AAAC sin embargo existe un error despreciable para el cálculo de la ampacidad en conductores ACAR por lo que se recomienda su aplicación en este tipo de conductor.
- Para la determinación del calor por radiación solar se recomienda optar por el día más caluroso y a medio día ya que con esto se garantiza la ampacidad mínima del conductor.
- Para el cálculo de la ampacidad se aconseja utilizar la resistencia del conductor a 75°C en corriente alterna AC para una frecuencia de 60Hz, este dato debe de ser ingresado con todos sus decimales ya que una pequeña variación podría provocar grandes errores de cálculo en el resultado final.

ANÁLISIS ECONÓMICO

- **Beneficio.-** Si se desea optimizar la capacidad de transmisión de una línea de transmisión es posible si se toma en cuenta que la mayor ampacidad se da cuando la incidencia solar es cercano a cero, los valores de ampacidad pueden elevarse incluso mucho más de lo indicado en el catálogo, esto fue deducido cuando se analizó las condiciones medioambientales que los fabricantes ofrecían, es decir, el hecho de que se conozca con más detalle el cálculo de la ampacidad permite obtener ampacidades mejoradas si se considera que pasado las 18:00 horas el calor por radiación solar es casi nula y coincidentemente a tal hora se da la máxima demanda de energía tal como se aprecia en la siguiente imagen.

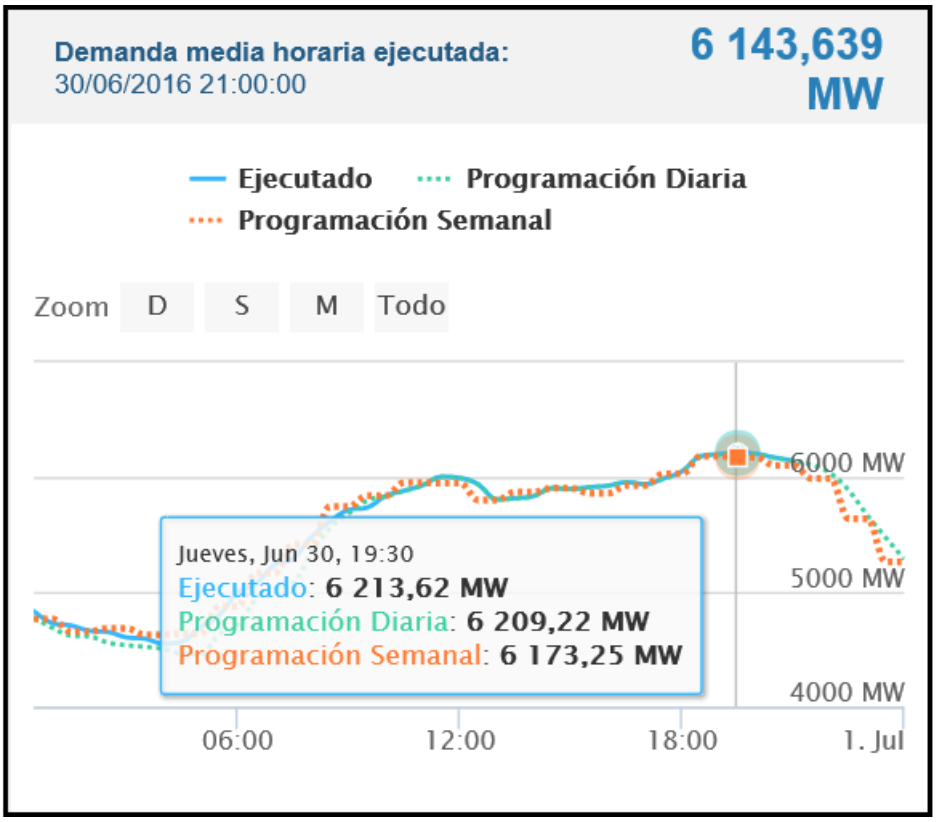

Figura 5.4. Demanda media respecto al tiempo (Fuente: Pagina web del COES)

En este caso particular la ampacidad para este horario de 18:00 h es de 823.19 Amp el cual es 107.49 Amp más alta de la ampacidad calculada para las 12:00 h, si se plasma para una tensión de 34.5 kV vendría a dar una potencia de transmisión de

49.19 MVA, el costo de MVAH está determinado por el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional COES.

- **Costo.-** El estudio de ampacidad podría estar valorizado entre USS 5,000 a USS 7,000 dólares dependiendo de la ubicación y recursos a utilizar para la determinación de los factores medioambientales y hojas de datos de los elementos involucrados.

BIBLIOGRAFÍA

- Transferencia de Calor J. P. Holman 10ma Edición, México 1999. Professor of Mechanical Engineering, Southern Methodist University.
- SERWAY – JEWETT Física para ingeniería Volumen 1 Séptima edición.
- Líneas de Transmisión de Potencia Volumen 1 Aspectos mecánicos y Conductores, Ing. Juan Bautista Ríos, Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- Estudio de la dependencia de la impedancia con la frecuencia de un conductor metálico - Efecto Piel.
- Gómez, Expósito A. (2002). Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica. México. Mac Graw Hill. Primera edición. ISBN 94-481-3592-X.
- Normas IEEE Std 738-2006 (Bare + Overhead + Conductors).
- Código nacional de Electricidad CNE 2011 Suministros.
- Código nacional de Electricidad CNE 2011 Utilizaciones.

ANEXOS

ANEXO 1: HOJA DE DATOS DE CONDUCTORES AAAC "SURAL"

ASTM CONDUCTOR SIZES - METRIC UNITS									
			Diameter (mm)				Resistance[3] Ohms/km		
Nominal Size (AWG or KCM)	(mm^2)	Stranding No. of Wires	Individual Wires	Complete Cable	Weight[1] (kg/km)	Rated Strength[2] kg	DC @ 20 ^{0}C	AC @ 75 ^{0}C	Current Rating[4] (Amps)
6	13.30	7	1.554	4.66	36.6	255	2.16	2.64	103
4	21.15	7	1.961	5.88	58.3	400	1.36	1.66	138
3	26.66	7	2.202	6.61	73.5	494	1.08	1.32	160
2	33.63	7	2.474	7.42	92.7	612	.854	1.04	185
1	42.41	19	1.687	8.43	117.0	789	.678	.828	214
1/0	53.51	19	1.892	9.46	147.3	980	.538	.657	248
2/0	67.44	19	2.126	10.63	185.9	1211	.426	.521	287
3/0	85.03	19	2.388	11.94	234.5	1501	.338	.413	332
4/0	107.2	19	2.680	13.40	295.4	1823	.268	.328	384
250	126.7	37	2.088	14.62	349.2	2227	.227	.278	426
300	152.0	37	2.286	16.00	418.6	2672	.189	.232	478
350	177.3	37	2.471	17.30	489.3	2066	.162	.199	527
400	202.7	37	2.642	18.49	559.0	3375	.142	.174	573
450	228.0	37	2.802	19.61	428.8	3719	.126	.155	616
500	253.4	37	2.951	20.66	697.8	4132	.113	.139	658
550	278.7	61	2.413	21.72	769.0	4763	.103	.127	699
600	304.0	61	2.520	22.68	835.5	5216	.0945	.117	738
650	329.4	61	2.621	23.59	907.5	5398	.0872	.108	776
700	354.7	61	2.720	24.48	977.4	5851	.0810	.100	812
750	380.0	61	2.817	25.35	1048	6123	.0756	.0937	847
800	405.4	61	2.908	26.17	1117	6532	.0709	.0880	882
900	456.0	61	3.086	27.77	1258	7212	.0630	.0785	948
1000	506.7	61	3.251	29.26	1396	8029	.0567	.0710	1011
1100	557.4	91	2.791	30.71	1535	9072	.0516	.0648	1071
1200	608.0	91	2.916	32.08	1675	9707	.0473	.0598	1129
1250	633.4	91	2.977	32.75	1746	10115	.0454	.0575	1157
1300	658.7	91	3.035	33.39	1815	10523	.0436	.0555	1184
1400	709.4	91	3.150	34.65	1954	11113	.0405	.0518	1237
1500	760.0	91	3.261	35.87	2096	11884	.0378	.0487	1288

ANEXO 2: PROGRAMACIÓN EN M-FILE MATLAB R2013A.

```
clc
clear
% DATOS FISICOS DEL CONDUCTOR
D=input('Diametro del conductor D=')
Rl=input('Resistencia a baja temperatura Rl=')
Rh=input('Resistencia a temperatura nominal Rh=')
e=input('Emisividad e=')
a=input('Absortividad a=')
Tc=input('Temperatura nominal del conductor Tc=')
% DATOS MEDIAMBIENTALES
Ta=input('Temperatura ambiente Ta=')
V=input('Velocidad del viento V=')
He=input('Altitud He=')
Lat=input('Latitud Lat=')
N=input('Dia del Año N=')
h=input('Hora del dia h=')
% COMVECCION
Uf=(1.458*10^-6*((Tc+Ta)/2+273)^1.5/((Tc+Ta)/2+383.4));
p=(1.293-1.525*10^-4*He+6.379*10^-9*He^2)/(1+0.00367*(Tc+Ta)/2);
Kf=2.424*0.01+7.477*10^-5*(Tc+Ta)/2-4.407*10^-9*((Tc+Ta)/2)^2;
Qc1=(1.01+0.0372*(p*D*V/Uf)^0.52)*Kf*(Tc-Ta);
Qc2=(0.0119*(D*p*V/Uf)^.6)*Kf*(Tc-Ta);
qc=max(Qc1,Qc2);
% RADIACION
qr=0.0178*D*e*(((273+Tc)/100)^4-((273+Ta)/100)^4);
% RADIACION SOLAR
w=15*(h-12);
d=23.4583*sind((284+N)/365*360);
Hc=asin(cosd(Lat)*cosd(d)*cosd(w)+sind(Lat)*sind(d))*180/3.14159;
X=(sind(w)/(sind(Lat)*cosd(w)-cosd(Lat)*tand(d)));
```

```
if X*w<0
   C=0;
else
   C=180;
end
Zc=C+180/pi*atan(X);
O=acos(cosd(Hc)*cosd(Zc-90))*180/3.14159;
Ksol=1+1.148*10^-4*He-1.108*10^-8*He^2;
Qs=-42.2391+63.4044*Hc-1.922*Hc^2+3.46921*0.01*Hc^3-3.61118*10^-
4*Hc^4+1.94318*10^-6*Hc^5-4.07608*10^-9*Hc^6;
Qse=Ksol*Qs;
A=D/10^3;
qs=a*Qse*sind(O)*A;
% EFECTO JOULE
R=Rl+((Rh-Rl)/(75-20))*(Tc-20);
% AMPACIDAD
I=((qc+qr-qs)/R*10^3)^.5
```

ANEXO 3: AMPACIDAD PARA CONDUCTORES AAAC UBICADOS EN AREQUIPA.

Anexo 3.1. Ampacidad de conductor AAAC - 6 AWG - Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 6 AWG						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	2.335	4.720	0.485	2.848	31.772	47.217
41	2.343	5.192	0.536	2.848	35.055	49.440
42	2.352	5.664	0.588	2.848	38.038	51.554
43	2.361	6.135	0.640	2.848	40.786	53.572
44	2.369	6.607	0.692	2.848	43.344	55.504
45	2.378	7.079	0.745	2.848	45.744	57.359
46	2.387	7.551	0.799	2.848	48.011	59.146
47	2.396	8.023	0.853	2.848	50.161	60.869
48	2.404	8.495	0.908	2.848	52.211	62.534
49	2.413	8.966	0.963	2.848	54.171	64.146
50	2.422	9.438	1.018	2.848	56.051	65.709
51	2.431	9.910	1.075	2.848	57.859	67.226
52	2.439	10.382	1.131	2.848	59.601	68.701
53	2.448	10.854	1.189	2.848	61.284	70.137
54	2.457	11.325	1.246	2.848	62.912	71.535
55	2.465	11.797	1.305	2.848	64.490	72.898
56	2.474	12.269	1.363	2.848	66.020	74.228
57	2.483	12.741	1.423	2.848	67.508	75.527
58	2.492	13.212	1.483	2.848	68.954	76.797
59	2.500	13.684	1.543	2.848	70.363	78.038
60	2.509	14.156	1.604	2.848	71.736	79.254
61	2.518	14.628	1.666	2.848	73.076	80.444
62	2.527	15.100	1.728	2.848	74.384	81.610
63	2.535	15.571	1.790	2.848	75.662	82.753
64	2.544	16.043	1.853	2.848	76.911	83.874
65	2.553	16.515	1.917	2.848	78.134	84.974
66	2.561	16.987	1.982	2.848	79.331	86.054
67	2.570	17.459	2.047	2.848	80.504	87.115
68	2.579	17.930	2.112	2.848	81.654	88.157
69	2.588	18.402	2.178	2.848	82.781	89.181
70	2.596	18.874	2.245	2.848	83.887	90.189
71	2.605	19.346	2.312	2.848	84.973	91.179
72	2.614	19.818	2.380	2.848	86.039	92.154
73	2.623	20.290	2.448	2.848	87.087	93.114
74	2.631	20.762	2.517	2.848	88.117	94.058
75	2.640	21.233	2.587	2.848	89.129	94.989
76	2.649	21.705	2.657	2.848	90.125	95.905
77	2.657	22.177	2.728	2.848	91.105	96.808
78	2.666	22.649	2.799	2.848	92.069	97.698

Anexo 3.2. Ampacidad de conductor AAAC - 4 AWG - Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 4 AWG						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	1.469	5.292	0.612	3.594	39.651	63.391
41	1.475	5.821	0.676	3.594	44.372	66.378
42	1.480	6.350	0.741	3.594	48.611	69.218
43	1.485	6.879	0.807	3.594	52.485	71.930
44	1.491	7.407	0.873	3.594	56.071	74.527
45	1.496	7.936	0.940	3.594	59.420	77.021
46	1.502	8.465	1.008	3.594	62.571	79.423
47	1.507	8.994	1.076	3.594	65.552	81.739
48	1.513	9.523	1.145	3.594	68.387	83.978
49	1.518	10.052	1.215	3.594	71.092	86.146
50	1.524	10.581	1.285	3.594	73.683	88.248
51	1.529	11.109	1.356	3.594	76.171	90.289
52	1.535	11.638	1.427	3.594	78.565	92.273
53	1.540	12.167	1.500	3.594	80.876	94.204
54	1.545	12.696	1.573	3.594	83.109	96.085
55	1.551	13.224	1.646	3.594	85.271	97.920
56	1.556	13.753	1.720	3.594	87.367	99.710
57	1.562	14.282	1.795	3.594	89.403	101.459
58	1.567	14.811	1.871	3.594	91.382	103.168
59	1.573	15.339	1.947	3.594	93.308	104.840
60	1.578	15.868	2.024	3.594	95.184	106.476
61	1.584	16.397	2.102	3.594	97.014	108.078
62	1.589	16.925	2.180	3.594	98.800	109.649
63	1.595	17.454	2.259	3.594	100.544	111.188
64	1.600	17.983	2.339	3.594	102.249	112.699
65	1.605	18.511	2.419	3.594	103.917	114.181
66	1.611	19.040	2.500	3.594	105.550	115.636
67	1.616	19.569	2.582	3.594	107.149	117.065
68	1.622	20.098	2.665	3.594	108.717	118.470
69	1.627	20.626	2.748	3.594	110.253	119.851
70	1.633	21.155	2.832	3.594	111.761	121.209
71	1.638	21.684	2.917	3.594	113.241	122.544
72	1.644	22.212	3.003	3.594	114.693	123.859
73	1.649	22.741	3.089	3.594	116.121	125.153
74	1.655	23.270	3.176	3.594	117.523	126.427
75	1.660	23.798	3.264	3.594	118.902	127.682
76	1.665	24.327	3.353	3.594	120.258	128.918
77	1.671	24.856	3.442	3.594	121.593	130.137
78	1.676	25.384	3.532	3.594	122.906	131.338
79	1.682	25.913	3.623	3.594	124.199	132.522
80	1.687	26.442	3.715	3.594	125.472	133.690

Anexo 3.3. Ampacidad de conductor AAAC - 3 AWG - Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 3 AWG						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	1.167	5.607	0.688	4.040	43.948	73.433
41	1.172	6.167	0.760	4.040	49.644	76.893
42	1.176	6.727	0.833	4.040	54.719	80.183
43	1.180	7.288	0.907	4.040	59.333	83.325
44	1.185	7.848	0.982	4.040	63.588	86.333
45	1.189	8.409	1.057	4.040	67.552	89.222
46	1.193	8.969	1.133	4.040	71.272	92.004
47	1.198	9.529	1.210	4.040	74.787	94.687
48	1.202	10.090	1.288	4.040	78.123	97.281
49	1.207	10.650	1.366	4.040	81.304	99.793
50	1.211	11.210	1.445	4.040	84.346	102.228
51	1.215	11.770	1.524	4.040	87.266	104.592
52	1.220	12.330	1.605	4.040	90.074	106.891
53	1.224	12.891	1.686	4.040	92.781	109.128
54	1.228	13.451	1.768	4.040	95.396	111.307
55	1.233	14.011	1.850	4.040	97.927	113.432
56	1.237	14.571	1.934	4.040	100.379	115.506
57	1.241	15.131	2.018	4.040	102.760	117.532
58	1.246	15.691	2.103	4.040	105.073	119.512
59	1.250	16.251	2.189	4.040	107.324	121.449
60	1.255	16.811	2.275	4.040	109.516	123.344
61	1.259	17.371	2.362	4.040	111.653	125.201
62	1.263	17.931	2.451	4.040	113.738	127.020
63	1.268	18.491	2.539	4.040	115.774	128.804
64	1.272	19.051	2.629	4.040	117.764	130.554
65	1.276	19.611	2.720	4.040	119.711	132.271
66	1.281	20.171	2.811	4.040	121.615	133.958
67	1.285	20.731	2.903	4.040	123.481	135.614
68	1.289	21.291	2.996	4.040	125.309	137.241
69	1.294	21.851	3.090	4.040	127.100	138.841
70	1.298	22.411	3.184	4.040	128.858	140.415
71	1.303	22.971	3.279	4.040	130.583	141.963
72	1.307	23.531	3.376	4.040	132.276	143.486
73	1.311	24.091	3.473	4.040	133.940	144.985
74	1.316	24.651	3.571	4.040	135.574	146.462
75	1.320	25.211	3.669	4.040	137.181	147.916
76	1.324	25.771	3.769	4.040	138.761	149.349
77	1.329	26.331	3.869	4.040	140.316	150.761
78	1.333	26.891	3.971	4.040	141.845	152.153
79	1.337	27.451	4.073	4.040	143.351	153.526
80	1.342	28.011	4.176	4.040	144.834	154.879

Anexo 3.4. Ampacidad de conductor AAAC - 2 AWG - Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 2 AWG						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.922	5.937	0.772	4.535	48.571	85.321
41	0.925	6.531	0.853	4.535	55.499	89.345
42	0.928	7.124	0.936	4.535	61.617	93.173
43	0.932	7.717	1.019	4.535	67.147	96.828
44	0.935	8.311	1.102	4.535	72.225	100.328
45	0.939	8.904	1.187	4.535	76.941	103.691
46	0.942	9.497	1.272	4.535	81.358	106.928
47	0.945	10.091	1.358	4.535	85.523	110.052
48	0.949	10.684	1.445	4.535	89.472	113.072
49	0.952	11.277	1.533	4.535	93.231	115.996
50	0.955	11.870	1.622	4.535	96.824	118.832
51	0.959	12.464	1.711	4.535	100.268	121.586
52	0.962	13.057	1.801	4.535	103.579	124.264
53	0.966	13.650	1.892	4.535	106.769	126.870
54	0.969	14.243	1.984	4.535	109.849	129.409
55	0.972	14.836	2.077	4.535	112.828	131.886
56	0.976	15.429	2.171	4.535	115.714	134.303
57	0.979	16.022	2.265	4.535	118.514	136.664
58	0.983	16.615	2.361	4.535	121.235	138.973
59	0.986	17.208	2.457	4.535	123.881	141.231
60	0.989	17.801	2.554	4.535	126.458	143.442
61	0.993	18.394	2.652	4.535	128.970	145.608
62	0.996	18.987	2.751	4.535	131.420	147.730
63	0.999	19.580	2.851	4.535	133.813	149.811
64	1.003	20.173	2.951	4.535	136.151	151.853
65	1.006	20.765	3.053	4.535	138.438	153.857
66	1.010	21.358	3.155	4.535	140.675	155.825
67	1.013	21.951	3.259	4.535	142.866	157.758
68	1.016	22.544	3.363	4.535	145.013	159.658
69	1.020	23.137	3.468	4.535	147.118	161.526
70	1.023	23.730	3.574	4.535	149.182	163.364
71	1.026	24.323	3.681	4.535	151.208	165.172
72	1.030	24.915	3.789	4.535	153.196	166.951
73	1.033	25.508	3.898	4.535	155.150	168.702
74	1.037	26.101	4.008	4.535	157.070	170.427
75	1.040	26.694	4.119	4.535	158.957	172.127
76	1.043	27.287	4.231	4.535	160.812	173.801
77	1.047	27.879	4.344	4.535	162.638	175.452
78	1.050	28.472	4.457	4.535	164.435	177.079
79	1.054	29.065	4.572	4.535	166.203	178.684
80	1.057	29.658	4.688	4.535	167.945	180.267

Anexo 3.5. Ampacidad de conductor AAAC - 1 AWG - Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 1 AWG						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.733	6.326	0.877	5.152	52.911	99.161
41	0.735	6.958	0.970	5.152	61.441	103.837
42	0.738	7.590	1.063	5.152	68.878	108.284
43	0.741	8.223	1.157	5.152	75.548	112.530
44	0.743	8.855	1.252	5.152	81.639	116.597
45	0.746	9.487	1.348	5.152	87.272	120.504
46	0.749	10.119	1.445	5.152	92.532	124.265
47	0.752	10.751	1.543	5.152	97.480	127.894
48	0.754	11.383	1.642	5.152	102.160	131.402
49	0.757	12.015	1.742	5.152	106.610	134.799
50	0.760	12.647	1.842	5.152	110.856	138.093
51	0.763	13.279	1.944	5.152	114.922	141.292
52	0.765	13.911	2.047	5.152	118.826	144.402
53	0.768	14.543	2.150	5.152	122.584	147.430
54	0.771	15.175	2.255	5.152	126.210	150.379
55	0.773	15.806	2.360	5.152	129.715	153.256
56	0.776	16.438	2.466	5.152	133.109	156.063
57	0.779	17.070	2.574	5.152	136.399	158.806
58	0.782	17.702	2.682	5.152	139.595	161.487
59	0.784	18.333	2.791	5.152	142.701	164.110
60	0.787	18.965	2.902	5.152	145.725	166.678
61	0.790	19.597	3.013	5.152	148.671	169.193
62	0.793	20.228	3.125	5.152	151.544	171.658
63	0.795	20.860	3.239	5.152	154.349	174.075
64	0.798	21.491	3.353	5.152	157.089	176.446
65	0.801	22.123	3.468	5.152	159.767	178.774
66	0.803	22.754	3.585	5.152	162.388	181.059
67	0.806	23.386	3.702	5.152	164.954	183.304
68	0.809	24.017	3.821	5.152	167.467	185.511
69	0.812	24.649	3.940	5.152	169.930	187.681
70	0.814	25.280	4.061	5.152	172.345	189.814
71	0.817	25.912	4.182	5.152	174.715	191.914
72	0.820	26.543	4.305	5.152	177.042	193.980
73	0.823	27.175	4.429	5.152	179.327	196.014
74	0.825	27.806	4.554	5.152	181.571	198.018
75	0.828	28.438	4.680	5.152	183.778	199.991
76	0.831	29.069	4.807	5.152	185.947	201.936
77	0.833	29.700	4.935	5.152	188.081	203.853
78	0.836	30.332	5.064	5.152	190.181	205.743
79	0.839	30.963	5.194	5.152	192.247	207.607
80	0.842	31.594	5.326	5.152	194.282	209.445

Anexo 3.6. Ampacidad de conductor AAAC - 1/0 AWG - Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 1/0 AWG						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.581	6.700	0.984	5.782	57.211	114.976
41	0.583	7.370	1.088	5.782	67.724	120.400
42	0.586	8.039	1.193	5.782	76.759	125.559
43	0.588	8.709	1.299	5.782	84.791	130.484
44	0.590	9.378	1.405	5.782	92.082	135.202
45	0.592	10.048	1.513	5.782	98.797	139.734
46	0.594	10.717	1.622	5.782	105.047	144.097
47	0.596	11.387	1.732	5.782	110.911	148.308
48	0.599	12.056	1.843	5.782	116.448	152.378
49	0.601	12.725	1.955	5.782	121.704	156.320
50	0.603	13.394	2.068	5.782	126.712	160.143
51	0.605	14.064	2.182	5.782	131.503	163.855
52	0.607	14.733	2.297	5.782	136.099	167.464
53	0.609	15.402	2.413	5.782	140.520	170.977
54	0.612	16.071	2.530	5.782	144.781	174.400
55	0.614	16.740	2.648	5.782	148.898	177.739
56	0.616	17.409	2.768	5.782	152.882	180.998
57	0.618	18.078	2.888	5.782	156.743	184.182
58	0.620	18.747	3.010	5.782	160.491	187.294
59	0.622	19.416	3.132	5.782	164.133	190.340
60	0.625	20.085	3.256	5.782	167.677	193.321
61	0.627	20.754	3.381	5.782	171.129	196.241
62	0.629	21.423	3.507	5.782	174.494	199.103
63	0.631	22.091	3.634	5.782	177.779	201.909
64	0.633	22.760	3.763	5.782	180.986	204.663
65	0.635	23.429	3.892	5.782	184.122	207.366
66	0.638	24.098	4.023	5.782	187.189	210.020
67	0.640	24.766	4.155	5.782	190.191	212.628
68	0.642	25.435	4.287	5.782	193.131	215.191
69	0.644	26.104	4.422	5.782	196.012	217.711
70	0.646	26.772	4.557	5.782	198.837	220.190
71	0.648	27.441	4.693	5.782	201.609	222.629
72	0.651	28.110	4.831	5.782	204.329	225.029
73	0.653	28.778	4.970	5.782	207.000	227.393
74	0.655	29.447	5.110	5.782	209.625	229.721
75	0.657	30.115	5.251	5.782	212.204	232.014
76	0.659	30.784	5.394	5.782	214.740	234.274
77	0.661	31.452	5.538	5.782	217.234	236.502
78	0.663	32.121	5.683	5.782	219.688	238.698
79	0.666	32.789	5.829	5.782	222.103	240.864
80	0.668	33.458	5.977	5.782	224.482	243.001

Anexo 3.7. Ampacidad de conductor AAAC - 2/0 AWG - Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 2/0 AWG						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.461	7.102	1.106	6.497	60.954	133.499
41	0.462	7.812	1.223	6.497	74.089	139.796
42	0.464	8.521	1.340	6.497	85.159	145.786
43	0.466	9.231	1.459	6.497	94.891	151.505
44	0.467	9.941	1.579	6.497	103.662	156.983
45	0.469	10.650	1.700	6.497	111.699	162.245
46	0.471	11.360	1.823	6.497	119.152	167.312
47	0.473	12.069	1.946	6.497	126.125	172.201
48	0.474	12.779	2.071	6.497	132.695	176.928
49	0.476	13.488	2.196	6.497	138.918	181.505
50	0.478	14.197	2.323	6.497	144.840	185.944
51	0.480	14.907	2.451	6.497	150.496	190.255
52	0.481	15.616	2.581	6.497	155.917	194.446
53	0.483	16.325	2.711	6.497	161.126	198.526
54	0.485	17.034	2.843	6.497	166.144	202.501
55	0.486	17.743	2.976	6.497	170.988	206.378
56	0.488	18.452	3.110	6.497	175.672	210.163
57	0.490	19.161	3.245	6.497	180.209	213.861
58	0.492	19.870	3.382	6.497	184.611	217.476
59	0.493	20.579	3.520	6.497	188.887	221.012
60	0.495	21.288	3.659	6.497	193.046	224.475
61	0.497	21.997	3.799	6.497	197.095	227.866
62	0.499	22.706	3.941	6.497	201.041	231.190
63	0.500	23.415	4.084	6.497	204.892	234.450
64	0.502	24.123	4.228	6.497	208.651	237.649
65	0.504	24.832	4.373	6.497	212.324	240.788
66	0.505	25.541	4.520	6.497	215.917	243.871
67	0.507	26.249	4.668	6.497	219.432	246.901
68	0.509	26.958	4.818	6.497	222.875	249.878
69	0.511	27.667	4.968	6.497	226.248	252.806
70	0.512	28.375	5.121	6.497	229.554	255.685
71	0.514	29.084	5.274	6.497	232.797	258.519
72	0.516	29.792	5.429	6.497	235.980	261.308
73	0.518	30.501	5.585	6.497	239.106	264.054
74	0.519	31.209	5.742	6.497	242.175	266.758
75	0.521	31.918	5.901	6.497	245.192	269.423
76	0.523	32.626	6.061	6.497	248.157	272.049
77	0.524	33.335	6.223	6.497	251.074	274.637
78	0.526	34.043	6.386	6.497	253.943	277.190
79	0.528	34.752	6.550	6.497	256.767	279.707
80	0.530	35.460	6.716	6.497	259.547	282.190

Anexo 3.8. Ampacidad de conductor AAAC - 3/0 AWG - Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 3/0 AWG						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.365	7.527	1.242	7.297	63.487	154.946
41	0.367	8.280	1.373	7.297	80.155	162.260
42	0.368	9.032	1.505	7.297	93.832	169.216
43	0.369	9.784	1.639	7.297	105.687	175.859
44	0.371	10.536	1.774	7.297	116.280	182.222
45	0.372	11.288	1.910	7.297	125.929	188.334
46	0.373	12.040	2.047	7.297	134.839	194.221
47	0.375	12.792	2.186	7.297	143.148	199.901
48	0.376	13.544	2.326	7.297	150.956	205.393
49	0.378	14.296	2.467	7.297	158.338	210.712
50	0.379	15.048	2.610	7.297	165.351	215.870
51	0.380	15.799	2.753	7.297	172.041	220.880
52	0.382	16.551	2.899	7.297	178.444	225.751
53	0.383	17.302	3.045	7.297	184.592	230.494
54	0.384	18.054	3.193	7.297	190.508	235.115
55	0.386	18.806	3.343	7.297	196.215	239.622
56	0.387	19.557	3.493	7.297	201.731	244.023
57	0.388	20.308	3.645	7.297	207.071	248.322
58	0.390	21.060	3.799	7.297	212.248	252.526
59	0.391	21.811	3.954	7.297	217.276	256.638
60	0.393	22.562	4.110	7.297	222.163	260.665
61	0.394	23.313	4.267	7.297	226.921	264.610
62	0.395	24.065	4.427	7.297	231.556	268.477
63	0.397	24.816	4.587	7.297	236.077	272.269
64	0.398	25.567	4.749	7.297	240.490	275.990
65	0.399	26.318	4.912	7.297	244.801	279.643
66	0.401	27.069	5.077	7.297	249.017	283.230
67	0.402	27.820	5.244	7.297	253.141	286.756
68	0.403	28.571	5.411	7.297	257.179	290.221
69	0.405	29.322	5.581	7.297	261.134	293.628
70	0.406	30.072	5.752	7.297	265.012	296.980
71	0.408	30.823	5.924	7.297	268.815	300.278
72	0.409	31.574	6.098	7.297	272.546	303.525
73	0.410	32.325	6.273	7.297	276.210	306.722
74	0.412	33.076	6.450	7.297	279.808	309.871
75	0.413	33.826	6.628	7.297	283.344	312.974
76	0.414	34.577	6.808	7.297	286.820	316.032
77	0.416	35.328	6.989	7.297	290.237	319.047
78	0.417	36.078	7.173	7.297	293.600	322.020
79	0.418	36.829	7.357	7.297	296.909	324.952
80	0.420	37.580	7.543	7.297	300.167	327.845

Anexo 3.9. Ampacidad de conductor AAAC - 4/0 AWG - Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 4/0 AWG						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.290	7.976	1.394	8.190	63.821	179.808
41	0.291	8.773	1.541	8.190	85.459	188.295
42	0.292	9.570	1.690	8.190	102.536	196.368
43	0.293	10.367	1.839	8.190	117.068	204.077
44	0.294	11.164	1.991	8.190	129.912	211.461
45	0.295	11.961	2.143	8.190	141.529	218.555
46	0.296	12.758	2.297	8.190	152.201	225.386
47	0.297	13.554	2.453	8.190	162.116	231.979
48	0.299	14.351	2.610	8.190	171.406	238.352
49	0.300	15.147	2.769	8.190	180.168	244.525
50	0.301	15.944	2.929	8.190	188.476	250.512
51	0.302	16.740	3.090	8.190	196.389	256.326
52	0.303	17.537	3.253	8.190	203.953	261.980
53	0.304	18.333	3.418	8.190	211.207	267.484
54	0.305	19.129	3.584	8.190	218.181	272.848
55	0.306	19.925	3.751	8.190	224.902	278.080
56	0.307	20.721	3.920	8.190	231.392	283.188
57	0.308	21.518	4.091	8.190	237.672	288.178
58	0.309	22.314	4.263	8.190	243.757	293.057
59	0.311	23.109	4.437	8.190	249.663	297.831
60	0.312	23.905	4.612	8.190	255.402	302.506
61	0.313	24.701	4.789	8.190	260.985	307.085
62	0.314	25.497	4.968	8.190	266.423	311.574
63	0.315	26.293	5.148	8.190	271.725	315.976
64	0.316	27.088	5.330	8.190	276.898	320.296
65	0.317	27.884	5.513	8.190	281.951	324.537
66	0.318	28.680	5.698	8.190	286.890	328.702
67	0.319	29.475	5.885	8.190	291.721	332.795
68	0.320	30.271	6.073	8.190	296.450	336.818
69	0.321	31.066	6.263	8.190	301.082	340.774
70	0.323	31.862	6.455	8.190	305.620	344.666
71	0.324	32.657	6.648	8.190	310.071	348.496
72	0.325	33.453	6.843	8.190	314.438	352.266
73	0.326	34.248	7.040	8.190	318.724	355.979
74	0.327	35.043	7.238	8.190	322.933	359.636
75	0.328	35.839	7.439	8.190	327.069	363.239
76	0.329	36.634	7.641	8.190	331.134	366.790
77	0.330	37.429	7.844	8.190	335.131	370.292
78	0.331	38.224	8.050	8.190	339.062	373.744
79	0.332	39.019	8.257	8.190	342.931	377.150
80	0.333	39.815	8.466	8.190	346.739	380.510

Anexo 3.10. Ampacidad de conductor AAAC - 250 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 250 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.246	8.333	1.521	8.935	61.174	200.329
41	0.246	9.166	1.681	8.935	88.078	209.786
42	0.247	9.999	1.843	8.935	108.392	218.782
43	0.248	10.831	2.007	8.935	125.364	227.372
44	0.249	11.664	2.172	8.935	140.214	235.601
45	0.250	12.496	2.338	8.935	153.559	243.507
46	0.251	13.329	2.507	8.935	165.764	251.120
47	0.252	14.161	2.676	8.935	177.067	258.467
48	0.253	14.993	2.848	8.935	187.630	265.570
49	0.254	15.825	3.021	8.935	197.574	272.449
50	0.255	16.657	3.195	8.935	206.988	279.122
51	0.256	17.489	3.371	8.935	215.942	285.603
52	0.257	18.321	3.549	8.935	224.492	291.905
53	0.258	19.153	3.729	8.935	232.683	298.040
54	0.259	19.985	3.910	8.935	240.552	304.019
55	0.259	20.817	4.093	8.935	248.131	309.851
56	0.260	21.649	4.277	8.935	255.445	315.545
57	0.261	22.480	4.463	8.935	262.518	321.108
58	0.262	23.312	4.651	8.935	269.369	326.547
59	0.263	24.143	4.841	8.935	276.015	331.870
60	0.264	24.975	5.032	8.935	282.471	337.081
61	0.265	25.806	5.225	8.935	288.749	342.187
62	0.266	26.637	5.420	8.935	294.862	347.191
63	0.267	27.469	5.617	8.935	300.821	352.100
64	0.268	28.300	5.815	8.935	306.634	356.917
65	0.269	29.131	6.015	8.935	312.310	361.646
66	0.270	29.962	6.217	8.935	317.857	366.291
67	0.271	30.793	6.421	8.935	323.281	370.855
68	0.272	31.624	6.626	8.935	328.590	375.341
69	0.272	32.455	6.833	8.935	333.789	379.753
70	0.273	33.286	7.042	8.935	338.883	384.094
71	0.274	34.117	7.253	8.935	343.878	388.366
72	0.275	34.948	7.466	8.935	348.777	392.571
73	0.276	35.779	7.681	8.935	353.586	396.712
74	0.277	36.610	7.897	8.935	358.308	400.791
75	0.278	37.440	8.116	8.935	362.947	404.811
76	0.279	38.271	8.336	8.935	367.506	408.772
77	0.280	39.102	8.558	8.935	371.988	412.678
78	0.281	39.933	8.782	8.935	376.397	416.530
79	0.282	40.763	9.008	8.935	380.735	420.330
80	0.283	41.594	9.236	8.935	385.005	424.079

Anexo 3.11. Ampacidad de conductor AAAC - 300 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 300 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.205	8.720	1.665	9.779	54.427	225.273
41	0.205	9.592	1.840	9.779	89.710	235.906
42	0.206	10.463	2.017	9.779	114.466	246.020
43	0.207	11.334	2.196	9.779	134.636	255.677
44	0.208	12.206	2.377	9.779	152.056	264.929
45	0.209	13.077	2.559	9.779	167.587	273.816
46	0.209	13.948	2.743	9.779	181.716	282.375
47	0.210	14.819	2.929	9.779	194.749	290.634
48	0.211	15.689	3.117	9.779	206.895	298.620
49	0.212	16.560	3.306	9.779	218.301	306.353
50	0.212	17.431	3.497	9.779	229.080	313.854
51	0.213	18.302	3.690	9.779	239.316	321.140
52	0.214	19.172	3.884	9.779	249.078	328.224
53	0.215	20.043	4.081	9.779	258.421	335.121
54	0.216	20.913	4.279	9.779	267.387	341.841
55	0.216	21.783	4.479	9.779	276.016	348.397
56	0.217	22.654	4.681	9.779	284.338	354.797
57	0.218	23.524	4.885	9.779	292.380	361.051
58	0.219	24.394	5.090	9.779	300.165	367.165
59	0.219	25.264	5.298	9.779	307.714	373.148
60	0.220	26.134	5.507	9.779	315.042	379.006
61	0.221	27.004	5.719	9.779	322.167	384.744
62	0.222	27.874	5.932	9.779	329.102	390.370
63	0.223	28.743	6.147	9.779	335.859	395.888
64	0.223	29.613	6.364	9.779	342.449	401.302
65	0.224	30.483	6.583	9.779	348.882	406.618
66	0.225	31.352	6.804	9.779	355.166	411.838
67	0.226	32.222	7.027	9.779	361.311	416.969
68	0.227	33.092	7.252	9.779	367.323	422.012
69	0.227	33.961	7.478	9.779	373.209	426.971
70	0.228	34.831	7.707	9.779	378.976	431.850
71	0.229	35.700	7.938	9.779	384.629	436.652
72	0.230	36.569	8.171	9.779	390.173	441.379
73	0.230	37.439	8.406	9.779	395.614	446.034
74	0.231	38.308	8.643	9.779	400.956	450.619
75	0.232	39.177	8.882	9.779	406.203	455.138
76	0.233	40.046	9.123	9.779	411.359	459.591
77	0.234	40.915	9.366	9.779	416.427	463.982
78	0.234	41.784	9.611	9.779	421.412	468.312
79	0.235	42.653	9.859	9.779	426.317	472.583
80	0.236	43.522	10.108	9.779	431.144	476.798

Anexo 3.12. Ampacidad de conductor AAAC - 350 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 350 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.175	9.070	1.800	10.573	41.158	248.909
41	0.176	9.977	1.990	10.573	88.947	260.659
42	0.177	10.883	2.181	10.573	118.708	271.836
43	0.177	11.790	2.375	10.573	142.248	282.508
44	0.178	12.696	2.570	10.573	162.298	292.732
45	0.179	13.602	2.767	10.573	180.030	302.554
46	0.179	14.508	2.966	10.573	196.075	312.013
47	0.180	15.414	3.167	10.573	210.820	321.141
48	0.181	16.319	3.370	10.573	224.521	329.967
49	0.182	17.225	3.574	10.573	237.362	338.515
50	0.182	18.131	3.781	10.573	249.474	346.805
51	0.183	19.036	3.989	10.573	260.961	354.858
52	0.184	19.942	4.200	10.573	271.904	362.688
53	0.184	20.847	4.412	10.573	282.365	370.311
54	0.185	21.752	4.627	10.573	292.397	377.740
55	0.186	22.658	4.843	10.573	302.044	384.987
56	0.186	23.563	5.061	10.573	311.343	392.062
57	0.187	24.468	5.282	10.573	320.323	398.975
58	0.188	25.373	5.504	10.573	329.013	405.735
59	0.188	26.278	5.728	10.573	337.434	412.349
60	0.189	27.183	5.955	10.573	345.608	418.825
61	0.190	28.087	6.183	10.573	353.551	425.170
62	0.190	28.992	6.414	10.573	361.280	431.390
63	0.191	29.897	6.646	10.573	368.808	437.490
64	0.192	30.801	6.881	10.573	376.149	443.477
65	0.192	31.706	7.118	10.573	383.313	449.355
66	0.193	32.610	7.357	10.573	390.311	455.128
67	0.194	33.515	7.598	10.573	397.151	460.801
68	0.194	34.419	7.841	10.573	403.842	466.378
69	0.195	35.323	8.086	10.573	410.393	471.862
70	0.196	36.228	8.333	10.573	416.809	477.258
71	0.196	37.132	8.583	10.573	423.098	482.568
72	0.197	38.036	8.835	10.573	429.266	487.796
73	0.198	38.940	9.089	10.573	435.317	492.945
74	0.198	39.844	9.345	10.573	441.258	498.016
75	0.199	40.748	9.604	10.573	447.092	503.014
76	0.200	41.652	9.864	10.573	452.825	507.940
77	0.200	42.556	10.127	10.573	458.461	512.797
78	0.201	43.460	10.392	10.573	464.003	517.587
79	0.202	44.364	10.660	10.573	469.455	522.313
80	0.202	45.267	10.930	10.573	474.820	526.975

Anexo 3.13. Ampacidad de conductor AAAC - 400 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 400 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.154	9.380	1.924	11.300	4.737	271.249
41	0.154	10.318	2.127	11.300	86.115	284.063
42	0.155	11.255	2.331	11.300	121.514	296.254
43	0.155	12.192	2.538	11.300	148.567	307.895
44	0.156	13.129	2.747	11.300	171.278	319.049
45	0.157	14.066	2.957	11.300	191.202	329.765
46	0.157	15.003	3.170	11.300	209.139	340.086
47	0.158	15.940	3.385	11.300	225.564	350.047
48	0.158	16.876	3.602	11.300	240.787	359.679
49	0.159	17.813	3.820	11.300	255.026	369.009
50	0.159	18.750	4.041	11.300	268.438	378.059
51	0.160	19.686	4.264	11.300	281.142	386.850
52	0.161	20.622	4.489	11.300	293.231	395.399
53	0.161	21.559	4.716	11.300	304.779	403.723
54	0.162	22.495	4.945	11.300	315.846	411.836
55	0.162	23.431	5.176	11.300	326.482	419.750
56	0.163	24.367	5.409	11.300	336.729	427.478
57	0.164	25.303	5.645	11.300	346.621	435.029
58	0.164	26.239	5.883	11.300	356.189	442.414
59	0.165	27.174	6.122	11.300	365.459	449.641
60	0.165	28.110	6.364	11.300	374.454	456.717
61	0.166	29.046	6.609	11.300	383.193	463.651
62	0.166	29.981	6.855	11.300	391.695	470.448
63	0.167	30.917	7.103	11.300	399.975	477.116
64	0.168	31.852	7.354	11.300	408.047	483.660
65	0.168	32.787	7.607	11.300	415.923	490.086
66	0.169	33.723	7.863	11.300	423.616	496.398
67	0.169	34.658	8.120	11.300	431.135	502.601
68	0.170	35.593	8.380	11.300	438.490	508.700
69	0.171	36.528	8.642	11.300	445.689	514.698
70	0.171	37.463	8.907	11.300	452.741	520.599
71	0.172	38.398	9.173	11.300	459.652	526.408
72	0.172	39.333	9.443	11.300	466.429	532.127
73	0.173	40.268	9.714	11.300	473.078	537.760
74	0.173	41.203	9.988	11.300	479.606	543.309
75	0.174	42.137	10.264	11.300	486.017	548.778
76	0.175	43.072	10.543	11.300	492.316	554.169
77	0.175	44.007	10.824	11.300	498.508	559.485
78	0.176	44.941	11.107	11.300	504.597	564.728
79	0.176	45.876	11.393	11.300	510.587	569.901
80	0.177	46.810	11.681	11.300	516.482	575.005

Anexo 3.14. Ampacidad de conductor AAAC - 450 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 450 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.137	9.663	2.040	11.985	Error	292.763
41	0.137	10.629	2.255	11.985	80.989	306.585
42	0.138	11.594	2.473	11.985	123.001	319.734
43	0.138	12.560	2.692	11.985	153.780	332.289
44	0.139	13.525	2.913	11.985	179.211	344.317
45	0.139	14.490	3.137	11.985	201.333	355.873
46	0.140	15.455	3.362	11.985	221.144	367.001
47	0.140	16.420	3.590	11.985	239.219	377.741
48	0.141	17.385	3.820	11.985	255.927	388.126
49	0.141	18.350	4.052	11.985	271.523	398.183
50	0.142	19.315	4.286	11.985	286.189	407.939
51	0.142	20.279	4.522	11.985	300.063	417.414
52	0.143	21.244	4.761	11.985	313.251	426.629
53	0.143	22.208	5.001	11.985	325.837	435.600
54	0.144	23.173	5.244	11.985	337.890	444.343
55	0.144	24.137	5.490	11.985	349.464	452.872
56	0.145	25.101	5.737	11.985	360.608	461.198
57	0.146	26.065	5.987	11.985	371.361	469.335
58	0.146	27.029	6.239	11.985	381.757	477.291
59	0.147	27.993	6.493	11.985	391.824	485.076
60	0.147	28.957	6.750	11.985	401.588	492.700
61	0.148	29.921	7.009	11.985	411.071	500.169
62	0.148	30.884	7.270	11.985	420.294	507.491
63	0.149	31.848	7.534	11.985	429.273	514.673
64	0.149	32.811	7.800	11.985	438.024	521.721
65	0.150	33.775	8.068	11.985	446.561	528.642
66	0.150	34.738	8.339	11.985	454.896	535.439
67	0.151	35.702	8.612	11.985	463.042	542.119
68	0.151	36.665	8.888	11.985	471.007	548.686
69	0.152	37.628	9.166	11.985	478.803	555.145
70	0.152	38.591	9.446	11.985	486.437	561.500
71	0.153	39.554	9.729	11.985	493.918	567.754
72	0.153	40.517	10.015	11.985	501.252	573.911
73	0.154	41.480	10.302	11.985	508.447	579.975
74	0.154	42.443	10.593	11.985	515.509	585.949
75	0.155	43.406	10.886	11.985	522.444	591.836
76	0.156	44.369	11.181	11.985	529.257	597.640
77	0.156	45.332	11.479	11.985	535.953	603.362
78	0.157	46.294	11.780	11.985	542.537	609.005
79	0.157	47.257	12.083	11.985	549.013	614.573
80	0.158	48.219	12.389	11.985	555.385	620.066

Anexo 3.15. Ampacidad de conductor AAAC - 500 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 500 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.122	9.921	2.150	12.627	Error	313.965
41	0.123	10.913	2.376	12.627	73.392	328.791
42	0.123	11.904	2.605	12.627	123.504	342.895
43	0.124	12.895	2.836	12.627	158.308	356.363
44	0.124	13.886	3.069	12.627	186.580	369.266
45	0.125	14.877	3.305	12.627	210.964	381.663
46	0.125	15.868	3.542	12.627	232.686	393.602
47	0.126	16.859	3.782	12.627	252.438	405.124
48	0.126	17.850	4.024	12.627	270.651	416.265
49	0.127	18.840	4.269	12.627	287.620	427.056
50	0.127	19.831	4.515	12.627	303.555	437.523
51	0.128	20.821	4.764	12.627	318.611	447.690
52	0.128	21.811	5.016	12.627	332.909	457.577
53	0.129	22.801	5.269	12.627	346.545	467.204
54	0.129	23.792	5.525	12.627	359.593	476.585
55	0.130	24.781	5.784	12.627	372.118	485.738
56	0.130	25.771	6.044	12.627	384.170	494.674
57	0.130	26.761	6.307	12.627	395.795	503.406
58	0.131	27.751	6.573	12.627	407.029	511.944
59	0.131	28.741	6.841	12.627	417.905	520.300
60	0.132	29.730	7.111	12.627	428.451	528.482
61	0.132	30.720	7.384	12.627	438.691	536.499
62	0.133	31.709	7.659	12.627	448.647	544.358
63	0.133	32.698	7.937	12.627	458.338	552.068
64	0.134	33.687	8.217	12.627	467.782	559.634
65	0.134	34.677	8.500	12.627	476.992	567.062
66	0.135	35.666	8.785	12.627	485.985	574.360
67	0.135	36.655	9.073	12.627	494.771	581.531
68	0.136	37.644	9.364	12.627	503.362	588.581
69	0.136	38.632	9.656	12.627	511.768	595.516
70	0.137	39.621	9.952	12.627	520.000	602.338
71	0.137	40.610	10.250	12.627	528.066	609.053
72	0.138	41.599	10.551	12.627	535.973	615.665
73	0.138	42.587	10.854	12.627	543.729	622.176
74	0.139	43.576	11.160	12.627	551.342	628.592
75	0.139	44.564	11.469	12.627	558.816	634.914
76	0.139	45.553	11.780	12.627	566.159	641.146
77	0.140	46.541	12.094	12.627	573.376	647.291
78	0.140	47.529	12.411	12.627	580.471	653.352
79	0.141	48.518	12.730	12.627	587.450	659.331
80	0.141	49.506	13.052	12.627	594.317	665.232

Anexo 3.16. Ampacidad de conductor AAAC - 550 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 550 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.112	10.176	2.260	13.275	Error	333.619
41	0.112	11.192	2.498	13.275	60.899	349.369
42	0.113	12.209	2.739	13.275	121.902	364.351
43	0.113	13.226	2.981	13.275	161.073	378.657
44	0.113	14.242	3.227	13.275	192.258	392.362
45	0.114	15.259	3.474	13.275	218.899	405.529
46	0.114	16.275	3.724	13.275	242.501	418.208
47	0.115	17.291	3.976	13.275	263.881	430.446
48	0.115	18.307	4.231	13.275	283.544	442.278
49	0.116	19.323	4.488	13.275	301.827	453.737
50	0.116	20.339	4.747	13.275	318.969	464.852
51	0.117	21.355	5.009	13.275	335.147	475.649
52	0.117	22.370	5.273	13.275	350.495	486.148
53	0.117	23.386	5.540	13.275	365.118	496.370
54	0.118	24.401	5.809	13.275	379.103	506.331
55	0.118	25.416	6.080	13.275	392.517	516.049
56	0.119	26.432	6.354	13.275	405.419	525.537
57	0.119	27.447	6.631	13.275	417.857	534.808
58	0.120	28.462	6.910	13.275	429.872	543.873
59	0.120	29.477	7.192	13.275	441.499	552.744
60	0.120	30.492	7.476	13.275	452.770	561.431
61	0.121	31.506	7.763	13.275	463.710	569.942
62	0.121	32.521	8.052	13.275	474.344	578.285
63	0.122	33.536	8.344	13.275	484.693	586.469
64	0.122	34.550	8.639	13.275	494.774	594.501
65	0.123	35.565	8.936	13.275	504.605	602.386
66	0.123	36.579	9.236	13.275	514.200	610.132
67	0.124	37.593	9.539	13.275	523.574	617.745
68	0.124	38.608	9.844	13.275	532.739	625.228
69	0.124	39.622	10.152	13.275	541.705	632.589
70	0.125	40.636	10.463	13.275	550.483	639.830
71	0.125	41.650	10.776	13.275	559.083	646.958
72	0.126	42.664	11.092	13.275	567.513	653.975
73	0.126	43.678	11.411	13.275	575.781	660.886
74	0.127	44.691	11.733	13.275	583.894	667.695
75	0.127	45.705	12.057	13.275	591.860	674.405
76	0.127	46.719	12.384	13.275	599.684	681.019
77	0.128	47.733	12.715	13.275	607.373	687.541
78	0.128	48.746	13.048	13.275	614.932	693.974
79	0.129	49.760	13.383	13.275	622.367	700.320
80	0.129	50.773	13.722	13.275	629.682	706.582

Anexo 3.17. Ampacidad de conductor AAAC - 600 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 600 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.103	10.401	2.360	13.861	Error	352.524
41	0.103	11.440	2.608	13.861	42.642	369.155
42	0.104	12.479	2.860	13.861	119.493	384.973
43	0.104	13.519	3.113	13.861	163.287	400.076
44	0.104	14.558	3.369	13.861	197.413	414.544
45	0.105	15.596	3.628	13.861	226.289	428.442
46	0.105	16.635	3.888	13.861	251.731	441.825
47	0.106	17.674	4.152	13.861	274.697	454.740
48	0.106	18.712	4.418	13.861	295.766	467.226
49	0.106	19.751	4.686	13.861	315.319	479.318
50	0.107	20.789	4.957	13.861	333.626	491.046
51	0.107	21.827	5.230	13.861	350.881	502.437
52	0.108	22.865	5.506	13.861	367.236	513.513
53	0.108	23.903	5.784	13.861	382.806	524.295
54	0.108	24.941	6.065	13.861	397.685	534.803
55	0.109	25.979	6.349	13.861	411.949	545.052
56	0.109	27.016	6.635	13.861	425.660	555.058
57	0.110	28.054	6.924	13.861	438.872	564.835
58	0.110	29.092	7.216	13.861	451.629	574.394
59	0.110	30.129	7.510	13.861	463.970	583.748
60	0.111	31.166	7.807	13.861	475.928	592.906
61	0.111	32.203	8.106	13.861	487.532	601.879
62	0.112	33.240	8.408	13.861	498.808	610.674
63	0.112	34.278	8.713	13.861	509.777	619.301
64	0.113	35.314	9.021	13.861	520.461	627.767
65	0.113	36.351	9.331	13.861	530.877	636.078
66	0.113	37.388	9.644	13.861	541.041	644.242
67	0.114	38.425	9.960	13.861	550.969	652.264
68	0.114	39.461	10.279	13.861	560.672	660.150
69	0.115	40.498	10.601	13.861	570.164	667.906
70	0.115	41.534	10.925	13.861	579.456	675.536
71	0.115	42.571	11.252	13.861	588.556	683.046
72	0.116	43.607	11.582	13.861	597.476	690.439
73	0.116	44.643	11.915	13.861	606.222	697.719
74	0.117	45.680	12.251	13.861	614.804	704.892
75	0.117	46.716	12.590	13.861	623.229	711.960
76	0.117	47.752	12.932	13.861	631.503	718.927
77	0.118	48.788	13.277	13.861	639.633	725.796
78	0.118	49.824	13.624	13.861	647.624	732.571
79	0.119	50.860	13.975	13.861	655.483	739.254
80	0.119	51.895	14.328	13.861	663.214	745.849

Anexo 3.18. Ampacidad de conductor AAAC - 650 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 650 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.095	10.610	2.454	14.417	Error	371.303
41	0.095	11.671	2.713	14.417	Error	388.820
42	0.096	12.731	2.974	14.417	116.102	405.483
43	0.096	13.791	3.238	14.417	165.016	421.392
44	0.096	14.851	3.504	14.417	202.231	436.633
45	0.097	15.910	3.773	14.417	233.415	451.273
46	0.097	16.970	4.045	14.417	260.743	465.371
47	0.097	18.029	4.318	14.417	285.327	478.976
48	0.098	19.089	4.595	14.417	307.827	492.130
49	0.098	20.148	4.874	14.417	328.673	504.868
50	0.099	21.207	5.156	14.417	348.163	517.224
51	0.099	22.266	5.440	14.417	366.516	529.223
52	0.099	23.325	5.727	14.417	383.896	540.892
53	0.100	24.384	6.017	14.417	400.431	552.252
54	0.100	25.443	6.309	14.417	416.223	563.322
55	0.100	26.501	6.604	14.417	431.354	574.120
56	0.101	27.560	6.902	14.417	445.893	584.663
57	0.101	28.618	7.202	14.417	459.898	594.963
58	0.102	29.677	7.505	14.417	473.416	605.035
59	0.102	30.735	7.811	14.417	486.490	614.891
60	0.102	31.793	8.120	14.417	499.155	624.540
61	0.103	32.851	8.431	14.417	511.442	633.995
62	0.103	33.909	8.746	14.417	523.378	643.262
63	0.103	34.967	9.063	14.417	534.989	652.353
64	0.104	36.025	9.383	14.417	546.296	661.273
65	0.104	37.082	9.706	14.417	557.317	670.031
66	0.105	38.140	10.031	14.417	568.071	678.634
67	0.105	39.197	10.360	14.417	578.573	687.088
68	0.105	40.255	10.691	14.417	588.837	695.398
69	0.106	41.312	11.026	14.417	598.876	703.571
70	0.106	42.369	11.363	14.417	608.702	711.612
71	0.106	43.427	11.704	14.417	618.326	719.526
72	0.107	44.484	12.047	14.417	627.757	727.318
73	0.107	45.541	12.393	14.417	637.005	734.991
74	0.108	46.598	12.743	14.417	646.078	742.550
75	0.108	47.655	13.095	14.417	654.984	750.000
76	0.108	48.712	13.451	14.417	663.731	757.343
77	0.109	49.768	13.809	14.417	672.325	764.583
78	0.109	50.825	14.171	14.417	680.772	771.724
79	0.110	51.882	14.536	14.417	689.078	778.768
80	0.110	52.938	14.903	14.417	697.250	785.719

Anexo 3.19. Ampacidad de conductor AAAC - 700 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 700 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.088	10.811	2.547	14.961	Error	389.815
41	0.088	11.892	2.816	14.961	Error	408.221
42	0.089	12.972	3.087	14.961	111.275	425.731
43	0.089	14.052	3.360	14.961	165.995	442.451
44	0.089	15.132	3.637	14.961	206.486	458.470
45	0.090	16.212	3.916	14.961	240.064	473.859
46	0.090	17.291	4.197	14.961	269.328	488.681
47	0.090	18.371	4.481	14.961	295.565	502.985
48	0.091	19.450	4.768	14.961	319.523	516.817
49	0.091	20.530	5.058	14.961	341.684	530.213
50	0.091	21.609	5.350	14.961	362.378	543.208
51	0.092	22.688	5.645	14.961	381.847	555.830
52	0.092	23.767	5.943	14.961	400.270	568.105
53	0.092	24.846	6.244	14.961	417.786	580.056
54	0.093	25.925	6.547	14.961	434.508	591.704
55	0.093	27.003	6.853	14.961	450.524	603.067
56	0.093	28.082	7.162	14.961	465.909	614.162
57	0.094	29.160	7.474	14.961	480.724	625.003
58	0.094	30.239	7.788	14.961	495.021	635.605
59	0.094	31.317	8.106	14.961	508.845	645.980
60	0.095	32.395	8.426	14.961	522.235	656.140
61	0.095	33.473	8.749	14.961	535.224	666.095
62	0.096	34.551	9.076	14.961	547.841	675.854
63	0.096	35.629	9.405	14.961	560.113	685.427
64	0.096	36.707	9.737	14.961	572.062	694.823
65	0.097	37.784	10.072	14.961	583.709	704.048
66	0.097	38.862	10.410	14.961	595.073	713.111
67	0.097	39.939	10.751	14.961	606.170	722.017
68	0.098	41.017	11.095	14.961	617.016	730.773
69	0.098	42.094	11.442	14.961	627.623	739.386
70	0.098	43.171	11.792	14.961	638.006	747.860
71	0.099	44.248	12.145	14.961	648.174	756.201
72	0.099	45.326	12.502	14.961	658.139	764.413
73	0.099	46.403	12.861	14.961	667.911	772.502
74	0.100	47.480	13.224	14.961	677.498	780.472
75	0.100	48.556	13.589	14.961	686.909	788.326
76	0.100	49.633	13.958	14.961	696.151	796.068
77	0.101	50.710	14.330	14.961	705.232	803.703
78	0.101	51.787	14.705	14.961	714.158	811.234
79	0.101	52.863	15.084	14.961	722.936	818.664
80	0.102	53.940	15.466	14.961	731.571	825.996

Anexo 3.20. Ampacidad de conductor AAAC - 750 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 750 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.082	11.004	2.638	15.493	Error	407.427
41	0.083	12.104	2.916	15.493	Error	426.652
42	0.083	13.204	3.196	15.493	104.623	444.939
43	0.083	14.303	3.480	15.493	165.918	462.399
44	0.083	15.402	3.766	15.493	209.790	479.126
45	0.084	16.501	4.055	15.493	245.756	495.195
46	0.084	17.600	4.346	15.493	276.917	510.668
47	0.084	18.699	4.641	15.493	304.753	525.601
48	0.085	19.798	4.938	15.493	330.108	540.039
49	0.085	20.896	5.238	15.493	353.519	554.021
50	0.085	21.995	5.540	15.493	375.350	567.584
51	0.086	23.093	5.846	15.493	395.865	580.756
52	0.086	24.191	6.154	15.493	415.260	593.565
53	0.086	25.290	6.465	15.493	433.688	606.036
54	0.087	26.388	6.780	15.493	451.268	618.189
55	0.087	27.485	7.097	15.493	468.097	630.043
56	0.087	28.583	7.416	15.493	484.254	641.617
57	0.088	29.681	7.739	15.493	499.806	652.926
58	0.088	30.778	8.065	15.493	514.809	663.985
59	0.088	31.876	8.394	15.493	529.310	674.806
60	0.089	32.973	8.726	15.493	543.352	685.401
61	0.089	34.071	9.060	15.493	556.968	695.782
62	0.089	35.168	9.398	15.493	570.192	705.959
63	0.090	36.265	9.739	15.493	583.050	715.941
64	0.090	37.362	10.083	15.493	595.568	725.736
65	0.090	38.459	10.430	15.493	607.766	735.354
66	0.091	39.555	10.780	15.493	619.665	744.802
67	0.091	40.652	11.133	15.493	631.283	754.086
68	0.091	41.749	11.489	15.493	642.635	763.214
69	0.092	42.845	11.849	15.493	653.736	772.190
70	0.092	43.942	12.211	15.493	664.600	781.022
71	0.092	45.038	12.577	15.493	675.238	789.715
72	0.093	46.134	12.946	15.493	685.662	798.274
73	0.093	47.231	13.318	15.493	695.882	806.703
74	0.093	48.327	13.694	15.493	705.907	815.007
75	0.094	49.423	14.072	15.493	715.747	823.190
76	0.094	50.519	14.454	15.493	725.410	831.257
77	0.094	51.615	14.840	15.493	734.902	839.212
78	0.095	52.711	15.228	15.493	744.232	847.057
79	0.095	53.806	15.620	15.493	753.406	854.797
80	0.095	54.902	16.015	15.493	762.430	862.435

Anexo 3.21. Ampacidad de conductor AAAC - 800 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 800 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.077	11.184	2.723	15.994	Error	424.648
41	0.077	12.301	3.010	15.994	Error	444.682
42	0.078	13.419	3.300	15.994	96.501	463.738
43	0.078	14.536	3.592	15.994	165.343	481.933
44	0.078	15.653	3.888	15.994	212.732	499.363
45	0.079	16.770	4.186	15.994	251.126	516.106
46	0.079	17.887	4.487	15.994	284.196	532.229
47	0.079	19.003	4.791	15.994	313.633	547.789
48	0.080	20.120	5.097	15.994	340.383	562.832
49	0.080	21.236	5.407	15.994	365.040	577.401
50	0.080	22.353	5.720	15.994	388.005	591.532
51	0.081	23.469	6.035	15.994	409.564	605.256
52	0.081	24.585	6.353	15.994	429.930	618.602
53	0.081	25.701	6.675	15.994	449.267	631.594
54	0.081	26.817	6.999	15.994	467.704	644.256
55	0.082	27.933	7.326	15.994	485.345	656.606
56	0.082	29.048	7.656	15.994	502.275	668.664
57	0.082	30.164	7.990	15.994	518.566	680.446
58	0.083	31.279	8.326	15.994	534.276	691.967
59	0.083	32.395	8.665	15.994	549.457	703.239
60	0.083	33.510	9.008	15.994	564.152	714.277
61	0.084	34.625	9.353	15.994	578.401	725.092
62	0.084	35.740	9.702	15.994	592.235	735.693
63	0.084	36.855	10.054	15.994	605.684	746.092
64	0.085	37.969	10.409	15.994	618.775	756.296
65	0.085	39.084	10.767	15.994	631.530	766.316
66	0.085	40.199	11.128	15.994	643.970	776.157
67	0.086	41.313	11.493	15.994	656.115	785.828
68	0.086	42.428	11.861	15.994	667.980	795.336
69	0.086	43.542	12.232	15.994	679.582	804.687
70	0.086	44.656	12.606	15.994	690.935	813.887
71	0.087	45.771	12.984	15.994	702.051	822.942
72	0.087	46.885	13.365	15.994	712.941	831.857
73	0.087	47.999	13.749	15.994	723.618	840.637
74	0.088	49.113	14.137	15.994	734.091	849.287
75	0.088	50.226	14.527	15.994	744.370	857.811
76	0.088	51.340	14.922	15.994	754.462	866.214
77	0.089	52.454	15.320	15.994	764.376	874.499
78	0.089	53.568	15.721	15.994	774.120	882.671
79	0.089	54.681	16.125	15.994	783.700	890.733
80	0.090	55.795	16.533	15.994	793.122	898.689

Anexo 3.22. Ampacidad de conductor AAAC - 900 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 900 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.069	11.526	2.889	16.972	Error	458.277
41	0.069	12.677	3.194	16.972	Error	479.885
42	0.069	13.829	3.501	16.972	71.938	500.437
43	0.069	14.980	3.812	16.972	161.845	520.059
44	0.070	16.131	4.125	16.972	216.986	538.854
45	0.070	17.283	4.442	16.972	260.470	556.908
46	0.070	18.434	4.761	16.972	297.456	574.292
47	0.071	19.584	5.084	16.972	330.140	591.067
48	0.071	20.735	5.409	16.972	359.697	607.284
49	0.071	21.886	5.738	16.972	386.848	622.989
50	0.071	23.036	6.069	16.972	412.071	638.221
51	0.072	24.186	6.404	16.972	435.702	653.013
52	0.072	25.337	6.742	16.972	457.989	667.397
53	0.072	26.487	7.083	16.972	479.123	681.399
54	0.073	27.637	7.427	16.972	499.251	695.044
55	0.073	28.786	7.774	16.972	518.492	708.353
56	0.073	29.936	8.124	16.972	536.943	721.346
57	0.073	31.086	8.478	16.972	554.683	734.040
58	0.074	32.235	8.835	16.972	571.781	746.453
59	0.074	33.384	9.195	16.972	588.294	758.598
60	0.074	34.534	9.559	16.972	604.270	770.489
61	0.075	35.683	9.925	16.972	619.753	782.139
62	0.075	36.832	10.295	16.972	634.780	793.559
63	0.075	37.981	10.669	16.972	649.384	804.760
64	0.075	39.130	11.045	16.972	663.592	815.751
65	0.076	40.278	11.425	16.972	677.433	826.542
66	0.076	41.427	11.809	16.972	690.928	837.141
67	0.076	42.575	12.196	16.972	704.098	847.557
68	0.077	43.724	12.586	16.972	716.962	857.796
69	0.077	44.872	12.980	16.972	729.538	867.866
70	0.077	46.020	13.377	16.972	741.840	877.772
71	0.077	47.169	13.778	16.972	753.884	887.522
72	0.078	48.317	14.182	16.972	765.681	897.121
73	0.078	49.465	14.590	16.972	777.244	906.575
74	0.078	50.613	15.001	16.972	788.585	915.888
75	0.079	51.760	15.416	16.972	799.712	925.065
76	0.079	52.908	15.834	16.972	810.637	934.111
77	0.079	54.056	16.256	16.972	821.367	943.031
78	0.079	55.203	16.682	16.972	831.911	951.828
79	0.080	56.351	17.111	16.972	842.276	960.507
80	0.080	57.498	17.544	16.972	852.470	969.071

Anexo 3.23. Ampacidad de conductor AAAC - 1000 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 1000 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.062	11.836	3.044	17.883	Error	490.293
41	0.062	13.018	3.365	17.883	Error	513.392
42	0.062	14.201	3.689	17.883	10.848	535.359
43	0.063	15.383	4.016	17.883	155.562	556.329
44	0.063	16.565	4.347	17.883	219.385	576.415
45	0.063	17.747	4.680	17.883	268.161	595.706
46	0.063	18.929	5.017	17.883	309.101	614.280
47	0.064	20.111	5.356	17.883	345.010	632.201
48	0.064	21.293	5.699	17.883	377.328	649.525
49	0.064	22.474	6.045	17.883	406.916	666.300
50	0.065	23.656	6.395	17.883	434.334	682.567
51	0.065	24.837	6.748	17.883	459.972	698.364
52	0.065	26.018	7.103	17.883	484.115	713.724
53	0.065	27.199	7.463	17.883	506.978	728.675
54	0.066	28.380	7.825	17.883	528.731	743.242
55	0.066	29.560	8.191	17.883	549.505	757.450
56	0.066	30.741	8.560	17.883	569.411	771.319
57	0.066	31.921	8.933	17.883	588.537	784.869
58	0.067	33.102	9.309	17.883	606.959	798.117
59	0.067	34.282	9.689	17.883	624.741	811.078
60	0.067	35.462	10.071	17.883	641.937	823.767
61	0.067	36.642	10.458	17.883	658.594	836.197
62	0.068	37.822	10.848	17.883	674.753	848.382
63	0.068	39.002	11.241	17.883	690.452	860.332
64	0.068	40.181	11.638	17.883	705.721	872.057
65	0.068	41.361	12.038	17.883	720.589	883.568
66	0.069	42.540	12.442	17.883	735.081	894.873
67	0.069	43.720	12.850	17.883	749.221	905.982
68	0.069	44.899	13.261	17.883	763.029	916.902
69	0.069	46.078	13.676	17.883	776.523	927.640
70	0.070	47.257	14.095	17.883	789.721	938.204
71	0.070	48.436	14.517	17.883	802.638	948.600
72	0.070	49.615	14.943	17.883	815.289	958.835
73	0.070	50.794	15.372	17.883	827.686	968.913
74	0.071	51.973	15.806	17.883	839.842	978.842
75	0.071	53.151	16.243	17.883	851.768	988.625
76	0.071	54.330	16.684	17.883	863.474	998.268
77	0.072	55.508	17.128	17.883	874.970	1007.775
78	0.072	56.686	17.577	17.883	886.264	1017.151
79	0.072	57.865	18.029	17.883	897.365	1026.401
80	0.072	59.043	18.486	17.883	908.281	1035.527

Anexo 3.24. Ampacidad de conductor AAAC - 1100 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 1100 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.056	12.130	3.195	18.769	Error	521.274
41	0.057	13.342	3.532	18.769	Error	545.822
42	0.057	14.554	3.872	18.769	Error	569.167
43	0.057	15.766	4.215	18.769	145.694	591.452
44	0.057	16.978	4.562	18.769	219.781	612.794
45	0.058	18.189	4.912	18.769	274.243	633.293
46	0.058	19.400	5.265	18.769	319.291	653.027
47	0.058	20.611	5.622	18.769	358.494	672.068
48	0.058	21.822	5.982	18.769	393.606	690.473
49	0.059	23.033	6.345	18.769	425.643	708.294
50	0.059	24.244	6.712	18.769	455.258	725.575
51	0.059	25.455	7.082	18.769	482.898	742.356
52	0.059	26.665	7.455	18.769	508.888	758.672
53	0.060	27.875	7.832	18.769	533.472	774.552
54	0.060	29.086	8.213	18.769	556.837	790.025
55	0.060	30.296	8.597	18.769	579.133	805.116
56	0.060	31.506	8.985	18.769	600.481	819.846
57	0.060	32.715	9.376	18.769	620.980	834.236
58	0.061	33.925	9.770	18.769	640.714	848.305
59	0.061	35.135	10.169	18.769	659.752	862.069
60	0.061	36.344	10.571	18.769	678.155	875.544
61	0.061	37.553	10.976	18.769	695.975	888.744
62	0.062	38.762	11.385	18.769	713.256	901.682
63	0.062	39.972	11.798	18.769	730.039	914.370
64	0.062	41.181	12.215	18.769	746.358	926.820
65	0.062	42.389	12.635	18.769	762.244	939.042
66	0.063	43.598	13.059	18.769	777.725	951.046
67	0.063	44.807	13.487	18.769	792.825	962.840
68	0.063	46.015	13.918	18.769	807.568	974.433
69	0.063	47.224	14.354	18.769	821.974	985.834
70	0.064	48.432	14.793	18.769	836.060	997.049
71	0.064	49.640	15.236	18.769	849.845	1008.085
72	0.064	50.848	15.683	18.769	863.342	1018.950
73	0.064	52.056	16.134	18.769	876.568	1029.649
74	0.065	53.264	16.589	18.769	889.533	1040.188
75	0.065	54.472	17.048	18.769	902.252	1050.573
76	0.065	55.680	17.510	18.769	914.735	1060.809
77	0.065	56.888	17.977	18.769	926.991	1070.900
78	0.066	58.095	18.448	18.769	939.032	1080.853
79	0.066	59.303	18.923	18.769	950.866	1090.670
80	0.066	60.510	19.402	18.769	962.501	1100.357

Anexo 3.25. Ampacidad de conductor AAAC - 1200 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 1200 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.052	12.402	3.338	19.606	Error	550.997
41	0.052	13.642	3.690	19.606	Error	576.913
42	0.052	14.881	4.045	19.606	Error	601.554
43	0.053	16.120	4.404	19.606	132.127	625.073
44	0.053	17.359	4.766	19.606	218.467	647.594
45	0.053	18.597	5.131	19.606	278.927	669.221
46	0.053	19.836	5.500	19.606	328.144	690.039
47	0.053	21.074	5.873	19.606	370.627	710.122
48	0.054	22.312	6.249	19.606	408.487	729.532
49	0.054	23.550	6.628	19.606	442.914	748.323
50	0.054	24.788	7.011	19.606	474.658	766.542
51	0.054	26.026	7.398	19.606	504.230	784.231
52	0.055	27.263	7.788	19.606	531.994	801.428
53	0.055	28.501	8.182	19.606	558.222	818.163
54	0.055	29.738	8.579	19.606	583.124	834.467
55	0.055	30.975	8.981	19.606	606.866	850.365
56	0.055	32.212	9.385	19.606	629.579	865.882
57	0.056	33.449	9.794	19.606	651.375	881.039
58	0.056	34.686	10.206	19.606	672.344	895.855
59	0.056	35.923	10.622	19.606	692.563	910.349
60	0.056	37.159	11.042	19.606	712.098	924.537
61	0.057	38.395	11.466	19.606	731.004	938.433
62	0.057	39.632	11.893	19.606	749.332	952.052
63	0.057	40.868	12.324	19.606	767.123	965.406
64	0.057	42.104	12.760	19.606	784.417	978.508
65	0.058	43.340	13.199	19.606	801.246	991.369
66	0.058	44.576	13.642	19.606	817.641	1003.998
67	0.058	45.811	14.088	19.606	833.628	1016.405
68	0.058	47.047	14.539	19.606	849.231	1028.600
69	0.058	48.282	14.994	19.606	864.474	1040.591
70	0.059	49.518	15.453	19.606	879.375	1052.386
71	0.059	50.753	15.916	19.606	893.953	1063.991
72	0.059	51.988	16.383	19.606	908.224	1075.415
73	0.059	53.223	16.854	19.606	922.205	1086.663
74	0.060	54.458	17.329	19.606	935.907	1097.742
75	0.060	55.693	17.808	19.606	949.346	1108.658
76	0.060	56.928	18.292	19.606	962.533	1119.416
77	0.060	58.163	18.779	19.606	975.479	1130.022
78	0.060	59.397	19.271	19.606	988.194	1140.480
79	0.061	60.632	19.767	19.606	1000.688	1150.795
80	0.061	61.866	20.267	19.606	1012.970	1160.973

Anexo 3.26. Ampacidad de conductor AAAC - 1250 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 1250 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.050	12.534	3.407	20.016	Error	565.773
41	0.050	13.786	3.767	20.016	Error	592.377
42	0.050	15.038	4.129	20.016	Error	617.671
43	0.050	16.290	4.496	20.016	123.518	641.812
44	0.051	17.542	4.865	20.016	217.222	664.928
45	0.051	18.794	5.238	20.016	280.899	687.125
46	0.051	20.045	5.615	20.016	332.289	708.492
47	0.051	21.297	5.995	20.016	376.463	729.103
48	0.052	22.548	6.379	20.016	415.730	749.022
49	0.052	23.799	6.767	20.016	451.377	768.307
50	0.052	25.050	7.158	20.016	484.207	787.004
51	0.052	26.301	7.552	20.016	514.762	805.156
52	0.052	27.551	7.951	20.016	543.428	822.802
53	0.053	28.802	8.353	20.016	570.493	839.974
54	0.053	30.052	8.759	20.016	596.178	856.703
55	0.053	31.302	9.168	20.016	620.655	873.016
56	0.053	32.553	9.581	20.016	644.065	888.937
57	0.054	33.802	9.999	20.016	666.522	904.488
58	0.054	35.052	10.419	20.016	688.121	919.689
59	0.054	36.302	10.844	20.016	708.943	934.559
60	0.054	37.552	11.273	20.016	729.056	949.114
61	0.054	38.801	11.705	20.016	748.519	963.370
62	0.055	40.050	12.142	20.016	767.382	977.341
63	0.055	41.300	12.582	20.016	785.691	991.041
64	0.055	42.549	13.026	20.016	803.485	1004.481
65	0.055	43.798	13.474	20.016	820.798	1017.673
66	0.056	45.046	13.927	20.016	837.663	1030.627
67	0.056	46.295	14.383	20.016	854.106	1043.354
68	0.056	47.544	14.843	20.016	870.154	1055.863
69	0.056	48.792	15.307	20.016	885.828	1068.162
70	0.056	50.041	15.776	20.016	901.150	1080.259
71	0.057	51.289	16.248	20.016	916.138	1092.162
72	0.057	52.537	16.725	20.016	930.810	1103.879
73	0.057	53.785	17.206	20.016	945.181	1115.415
74	0.057	55.033	17.691	20.016	959.266	1126.778
75	0.058	56.281	18.180	20.016	973.079	1137.973
76	0.058	57.529	18.674	20.016	986.631	1149.006
77	0.058	58.777	19.171	20.016	999.935	1159.882
78	0.058	60.025	19.673	20.016	1013.001	1170.607
79	0.058	61.272	20.180	20.016	1025.840	1181.186
80	0.059	62.520	20.690	20.016	1038.460	1191.623

Anexo 3.27. Ampacidad de conductor AAAC - 1300 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 1300 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.048	12.658	3.474	20.407	Error	580.159
41	0.048	13.922	3.840	20.407	Error	607.412
42	0.048	15.187	4.210	20.407	Error	633.320
43	0.049	16.451	4.583	20.407	113.679	658.044
44	0.049	17.716	4.960	20.407	215.639	681.716
45	0.049	18.980	5.341	20.407	282.578	704.443
46	0.049	20.244	5.725	20.407	336.122	726.318
47	0.049	21.507	6.112	20.407	381.949	747.416
48	0.050	22.771	6.504	20.407	422.583	767.805
49	0.050	24.034	6.899	20.407	459.407	787.540
50	0.050	25.298	7.297	20.407	493.278	806.672
51	0.050	26.561	7.700	20.407	524.771	825.245
52	0.051	27.824	8.106	20.407	554.295	843.298
53	0.051	29.087	8.516	20.407	582.152	860.864
54	0.051	30.349	8.930	20.407	608.574	877.975
55	0.051	31.612	9.347	20.407	633.742	894.658
56	0.051	32.874	9.769	20.407	657.802	910.939
57	0.052	34.137	10.194	20.407	680.875	926.839
58	0.052	35.399	10.623	20.407	703.059	942.381
59	0.052	36.661	11.056	20.407	724.438	957.582
60	0.052	37.923	11.493	20.407	745.083	972.459
61	0.052	39.185	11.934	20.407	765.056	987.030
62	0.053	40.446	12.379	20.407	784.409	1001.308
63	0.053	41.708	12.828	20.407	803.188	1015.307
64	0.053	42.969	13.281	20.407	821.436	1029.040
65	0.053	44.231	13.738	20.407	839.187	1042.518
66	0.054	45.492	14.199	20.407	856.475	1055.752
67	0.054	46.753	14.664	20.407	873.328	1068.752
68	0.054	48.014	15.133	20.407	889.773	1081.528
69	0.054	49.275	15.606	20.407	905.832	1094.089
70	0.054	50.535	16.084	20.407	921.528	1106.442
71	0.055	51.796	16.566	20.407	936.879	1118.597
72	0.055	53.057	17.052	20.407	951.904	1130.559
73	0.055	54.317	17.542	20.407	966.619	1142.337
74	0.055	55.577	18.037	20.407	981.040	1153.937
75	0.056	56.838	18.535	20.407	995.179	1165.364
76	0.056	58.098	19.039	20.407	1009.050	1176.625
77	0.056	59.358	19.546	20.407	1022.665	1187.725
78	0.056	60.618	20.058	20.407	1036.036	1198.671
79	0.056	61.878	20.574	20.407	1049.171	1209.465
80	0.057	63.137	21.095	20.407	1062.082	1220.114

Anexo 3.28. Ampacidad de conductor AAAC - 1400 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 1400 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.045	12.898	3.605	21.177	Error	608.243
41	0.045	14.187	3.985	21.177	Error	636.791
42	0.045	15.476	4.369	21.177	Error	663.927
43	0.045	16.764	4.756	21.177	87.175	689.821
44	0.045	18.053	5.147	21.177	211.023	714.609
45	0.046	19.341	5.542	21.177	284.969	738.407
46	0.046	20.629	5.941	21.177	342.977	761.309
47	0.046	21.917	6.343	21.177	392.189	783.396
48	0.046	23.204	6.749	21.177	435.601	804.737
49	0.046	24.492	7.159	21.177	474.811	825.393
50	0.047	25.779	7.573	21.177	510.791	845.416
51	0.047	27.066	7.990	21.177	544.184	864.852
52	0.047	28.353	8.412	21.177	575.446	883.741
53	0.047	29.640	8.837	21.177	604.909	902.120
54	0.047	30.927	9.267	21.177	632.828	920.021
55	0.048	32.213	9.700	21.177	659.400	937.472
56	0.048	33.500	10.137	21.177	684.786	954.502
57	0.048	34.786	10.579	21.177	709.115	971.132
58	0.048	36.072	11.024	21.177	732.495	987.385
59	0.049	37.358	11.473	21.177	755.015	1003.281
60	0.049	38.644	11.927	21.177	776.754	1018.837
61	0.049	39.930	12.384	21.177	797.776	1034.071
62	0.049	41.216	12.846	21.177	818.138	1048.998
63	0.049	42.501	13.312	21.177	837.892	1063.633
64	0.050	43.786	13.782	21.177	857.079	1077.987
65	0.050	45.072	14.256	21.177	875.740	1092.075
66	0.050	46.357	14.734	21.177	893.908	1105.906
67	0.050	47.642	15.217	21.177	911.616	1119.492
68	0.050	48.927	15.704	21.177	928.890	1132.843
69	0.051	50.212	16.195	21.177	945.755	1145.967
70	0.051	51.496	16.691	21.177	962.236	1158.875
71	0.051	52.781	17.191	21.177	978.352	1171.574
72	0.051	54.065	17.695	21.177	994.122	1184.071
73	0.051	55.350	18.204	21.177	1009.565	1196.374
74	0.052	56.634	18.717	21.177	1024.695	1208.491
75	0.052	57.918	19.235	21.177	1039.528	1220.426
76	0.052	59.202	19.757	21.177	1054.078	1232.188
77	0.052	60.486	20.284	21.177	1068.357	1243.781
78	0.052	61.770	20.815	21.177	1082.377	1255.211
79	0.053	63.054	21.350	21.177	1096.149	1266.483
80	0.053	64.338	21.891	21.177	1109.683	1277.602

Anexo 3.29. Ampacidad de conductor AAAC - 1500 KCM- Ubicación: Arequipa.

RESULTADOS PARA CONDUCTOR AAAC - 1500 KCM						
"Tc"	"R"	"Qc"	"Qr"	"Qs"	"I"	"I" no Sol
°C	Ω/km	w/m	w/m	w/m	Amp	Amp
40	0.042	13.128	3.732	21.923	Error	635.369
41	0.042	14.439	4.126	21.923	Error	665.150
42	0.042	15.751	4.523	21.923	Error	693.451
43	0.042	17.062	4.924	21.923	38.716	720.452
44	0.043	18.373	5.329	21.923	204.489	746.296
45	0.043	19.685	5.737	21.923	286.086	771.103
46	0.043	20.995	6.150	21.923	348.700	794.972
47	0.043	22.306	6.566	21.923	401.321	817.988
48	0.043	23.617	6.987	21.923	447.495	840.223
49	0.044	24.927	7.411	21.923	489.056	861.740
50	0.044	26.237	7.839	21.923	527.099	882.595
51	0.044	27.547	8.272	21.923	562.344	902.834
52	0.044	28.857	8.708	21.923	595.290	922.502
53	0.044	30.167	9.149	21.923	626.303	941.635
54	0.045	31.476	9.593	21.923	655.662	960.267
55	0.045	32.786	10.042	21.923	683.583	978.430
56	0.045	34.095	10.494	21.923	710.236	996.150
57	0.045	35.404	10.951	21.923	735.764	1013.452
58	0.045	36.713	11.412	21.923	760.282	1030.359
59	0.046	38.022	11.877	21.923	783.886	1046.893
60	0.046	39.331	12.347	21.923	806.660	1063.071
61	0.046	40.639	12.820	21.923	828.673	1078.912
62	0.046	41.948	13.298	21.923	849.988	1094.431
63	0.046	43.256	13.780	21.923	870.656	1109.644
64	0.047	44.564	14.267	21.923	890.726	1124.564
65	0.047	45.872	14.758	21.923	910.239	1139.204
66	0.047	47.180	15.253	21.923	929.231	1153.577
67	0.047	48.488	15.753	21.923	947.735	1167.693
68	0.047	49.796	16.257	21.923	965.782	1181.562
69	0.048	51.103	16.766	21.923	983.397	1195.196
70	0.048	52.411	17.279	21.923	1000.606	1208.601
71	0.048	53.718	17.796	21.923	1017.430	1221.789
72	0.048	55.025	18.318	21.923	1033.889	1234.765
73	0.048	56.333	18.845	21.923	1050.002	1247.539
74	0.049	57.640	19.376	21.923	1065.786	1260.117
75	0.049	58.947	19.912	21.923	1081.257	1272.507
76	0.049	60.253	20.453	21.923	1096.430	1284.714
77	0.049	61.560	20.998	21.923	1111.317	1296.745
78	0.049	62.867	21.548	21.923	1125.931	1308.605

ANEXO 4: VALORES TIPICOS DE EMISIVIDAD Y ABSORTIVIDAD

Emisividad y Absortividad según el color de superficie

EMISIVIDAD Y ABSORTIVIDAD SEGÚN EL COLOR DE SUPERFICIE							
		L. de Onda	L. O. Maximo	Frecuencia	Energia	Emisividad	Absortividad
		n.m.	n.m.	THz	Joul	-	-
Negro		-	-	-	-	0.85	0.85
Rojo		620-750	750	400.00	2.6504E-31	0.61	0.61
Naranja		590-620	620	483.87	3.2061E-31	0.49	0.49
Amarillo		570-590	590	508.47	3.3692E-31	0.38	0.38
Verde		495-570	570	526.32	3.4874E-31	0.31	0.31
Azul		450-495	495	606.06	4.0158E-31	0.26	0.26
Violeta		380-450	450	666.67	4.4173E-31	0.21	0.21
Blanco		-	-	-	-	0.12	0.12

Fuente: Física para ciencia e ingeniería SERWAY JEWETT 4ta Edición.

Emisividad y Absortividad de metales y no metales

EMISIVIDAD Y ABSORTIVIDAD DE METALES				
Metal	Emisividad / Absortividad		**No metal**	Emisividad / Absortividad
	Pulido	No pulido		
Plata	0.02	0.45	Ladrillo Rojo	0.77
Cobre	0.25	0.64	Carbón	0.93
Oro	0.21	0.47	Asfalto	0.93
Aluminio	0.08	0.20	Arena	0.76
Cinc	0.06	0.25	Hormigón	0.65
Hierro	0.34	0.60	Vidrio Crudo	0.11
Acero	0.65	0.90	Mármol Blanco	0.47
Acero inox	0.18	0.85	Papel Blanco	0.28
Plomo	0.28	0.35	Yeso	0.22
Latón	0.22	0.61	Porcelana	0.45
Estaño	0.03	0.07	Madera Oscura	0.65

Fuente: Física para ciencia e ingeniería SERWAY JEWETT 4ta Edición.

ANEXO 5: CALCULO Y RECOMENDACIÓN DE TIEMPOS DE CORTO CIRCUITO

Calculo de tiempos máximos de corto circuito

Un corto circuito conlleva a una elevación súbita de la temperatura de los equipos siendo el aislamiento de estos los más perjudicados ya que solo se permite soportar cierto gradiente de temperatura dependiendo de la clase de aislamiento como es el caso de transformadores o motores. Por esta razón el tiempo de falla debe de ser calculado para cada elemento ya que cada equipo tiene características física diferentes, es decir, su soportabilidad ante una falla dependerá de básicamente 3 factores: La masa de conductor (Define la cantidad de energía para elevar la temperatura), la clase de aislamiento (Define la temperatura máxima soportada) y la corriente de corto circuito (Define la magnitud de energía entrante). La siguiente ecuación define el tiempo máximo de corto circuito que puede estar expuesto un motor, generador, transformador, conductor aéreo o conductor aislado (Fuente: "Corriente-temperatura en régimen transitorio para condiciones adiabáticas norma IEC 60949).

$$t = ln\left(\frac{234.5 + T_{cc}}{234.5 + T_c}\right) * \left(226 * \frac{A}{I_{cc}}\right)^2$$

t: Tiempo máximo de corto circuito (Seg).

I_{cc}: Corriente de falla trifásica (A).

A: Área efectiva del conductor (mm2).

T_c: Temperatura ambiente (°C)

T_{cc}: Temperatura máxima soportada del aislamiento (°C)

Iniciamos definiendo la magnitud de falla por medio de un estudio de corto circuito, Lo segundo es determinar la sección del conductor de dicho equipos y por último, consultar la temperatura máxima y de operación según la clase de aislamiento. La siguiente tabla facilita algunos valores típicos de temperatura según su tipo de aislamiento.

Transformadores y Maquinas Rotativas			
Clase de aislamiento	Clase A y B	Clase F	Clase H
Temperatura de operación	80	105	125
Temperatura transitoria	130	155	180
Conductores Aislados			
Clase de aislamiento	PVC	XLPE	N2XSY
Temperatura de operación	80	90	90
Temperatura transitoria	160	250	250
Conductores Aéreos			
Temperatura de operación	75		
Temperatura transitoria	240		

Los resultados de tiempos máximos de corto circuito deben de ser corregidos con un factor de seguridad de 0.5 para garantizar que nunca se llegue a esa temperatura destructiva.

Nota: Esta ecuación para determinar el tiempo máximo de falla de los equipos a proteger no contempla los efectos electrodinámicos que se ejercen en el momento de la falla.

Tiempos de protección recomendados

La protección principal debe proteger totalmente el sistema eléctrico y eliminar cualquier falla en un tiempo máximo de 100 ms. Este tiempo equivale a una protección de relé de 2 ciclos y un interruptor de 4 ciclos. La protección de respaldo debe proteger totalmente el sistema y eliminar cualquier tipo de falla en un tiempo máximo de 500 ms.