

**PAQUETE DE FUNCIONES EN PYTHON PARA EL CÁLCULO Y  
DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN BAJA TENSIÓN:  
DISEÑO SIMPLIFICADO**

**MATEO PALACIO PINEDA**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2020**

**PAQUETE DE FUNCIONES EN PYTHON PARA EL CÁLCULO Y  
DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN BAJA TENSIÓN:  
DISEÑO SIMPLIFICADO**

**MATEO PALACIO PINEDA**

**Asesores:**

**Santiago Bustamante Mesa**

**Ingeniero Electricista, Msc**

**Mateo Rico Garcia**

**Ingeniero electrónico, Msc**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**TECNOLOGÍA ELÉCTRICA**

**MEDELLÍN**

**2020**

## Contenido

Introducción	1
1. Planteamiento del problema	2
1.1 Descripción	2
1.2 Formulación	2
2. Justificación	3
3. Objetivos	4
3.1 Objetivo general	4
3.2 Objetivos específicos	4
4. Marco Teórico	5
4.1 Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos	5
4.2 Diseño del sistema de puesta a tierra	6
4.3 Cálculo y coordinación de protecciones contra sobre corrientes.	9
4.3.1 Fusibles	9
4.3.2 Interruptores Automáticos (Breakers)	10
4.4 Cálculos de canalizaciones y volumen de encerramientos	10
4.5 Cálculos de regulación	11
5. Resultados	12
5.1 función número 1:	13
5.2 función número 2:	14
5.3 función número 3	15
6. Conclusiones	16
7. Referencias bibliográficas	16



## **Introducción**

El diseño de instalaciones eléctricas es una tarea fundamental y de suma precisión, pues de esta dependen muchas otras áreas, tales como la industrial, la residencial, comercio y otras donde hay que ser más meticuloso en los detalles, como las de nivel clínico. Para simplificar esta tarea tan delicada se han creado múltiples herramientas computacionales, y estas claro que potencian la exactitud de los cálculos, pero a la vez este tipo de herramientas son de difícil acceso para los nuevos profesionales. Por esta razón se presenta este trabajo, un "Paquete de Funciones en Python para el Cálculo y Dimensionamiento de Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión". Donde se ofrece una solución para, ingenieros, tecnólogos, técnicos, y sobre todo nuevos profesionales en el área del sector eléctrico. A Través de este paquete de funciones en Python se busca garantizar que exista una herramienta libre que apoye también a los estudiantes de la materia "instalaciones e iluminaciones".

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1 Descripción**

Teniendo como punto de referencia la materia de INSTALACIONES E ILUMINACIONES, donde se le enseña a los estudiantes a desarrollar proyectos de instalaciones eléctricas de una manera manual, con la finalidad de interiorizar y asimilar los conceptos. No obstante, puede afirmarse que el desarrollo de los cálculos es bastante largo y engorroso sin tener en cuenta lo tedioso para llevar a cabo en proyectos de instalaciones eléctricas en un ambiente real, por lo que en este trabajo se le apuesta a la creación de un paquete de herramientas en PYTHON, para obtener como resultado un conjunto de funciones que permitan desarrollar dichos proyectos de manera económica, fiable y por supuesto más rápido que cualquier cálculo hecho a mano.

Al reducir los costos en la industria mediante la optimización del tiempo dedicado a esta tarea, liberamos recursos para impulsar avances en otros ámbitos. Este paquete de herramientas no solo nos permite maximizar la eficiencia operativa, sino también potenciar nuestra capacidad para mejorar y progresar en otras áreas de las instalaciones eléctricas en baja tensión.

### **1.2 Formulación**

¿Cómo utilizar PYTHON para optimizar los cálculos numéricos en instalaciones eléctricas, de forma que genere resultados más rápidos y confiables, donde se vean beneficiados tanto el desarrollador como el usuario final?

## 2. Justificación

La eficiencia y precisión en las instalaciones eléctricas son de suma importancia ya que de estas depende la vida de muchas personas, por esta razón al desarrollar funciones específicas para realizar los cálculos eléctricos podemos garantizar con mayor seguridad que los errores se van a minimizar en los resultados finales, asegurando más confiabilidad en los proyectos y la entrega de informes y diseños eléctricos. También hay que tener en cuenta que al utilizar este tipo de herramientas se ahorra gran cantidad de tiempo.

Un aspecto importante es que este tipo de herramientas se puede reutilizar en infinidad de proyectos y escenarios, viendo como resultado gran cantidad de tiempo ahorrado, pues no es necesario volver a escribir el código de nuevo. También las funciones pueden ser reestructuradas para adaptarse a las necesidades específicas de algún nuevo proyecto, esto permite a los ingenieros y tecnólogos personalizar los cálculos según los requerimientos que el nuevo proyecto demanda.

El software PYTHON y el desarrollo que en este se crea puede integrarse fácilmente con otros softwares y herramientas de análisis de datos, lo que da como resultado análisis más complejos y detallados y al mismo tiempo integrar los resultados a otros sistemas que los requieran, generando así más confianza y agilidad en el proceso.

Realizar funciones en PYTHON para el dimensionamiento numérico de instalaciones eléctricas en baja tensión, proporciona una solución real, eficiente y versátil que ayudan a mejorar el abordaje a la hora de enfrentar proyectos de diseño eléctrico. Además, como el software es libre puede ser utilizado sin ninguna limitación, por cualquier persona, dejando como resultado posibles mejoras de la herramienta propuesta en este trabajo por cualquiera que lo desee.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Desarrollar un paquete de funciones en Python, utilizando las herramientas que el software brinda, para el cálculo y dimensionamiento de instalaciones eléctricas en baja tensión enfocadas en el diseño simplificado.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Definir las funciones y los criterios de cada una de ellas a partir de las normativas y reglamentos aplicables a las instalaciones eléctricas de baja tensión, para dar enfoque a los cálculos que se requieren.
- Extraer los cálculos y requerimientos numéricos necesarios conforme a la norma RETIE y NTC 2050 para ofrecer resultados válidos ante las autoridades competentes.
- Desarrollo del paquete de funciones utilizando el software Python para el cálculo de instalaciones eléctricas en baja tensión.

## 4. Marco Teórico

En el ámbito de la ingeniería eléctrica, el diseño de instalaciones juega un papel crucial en la garantía de su eficiencia y seguridad. Una herramienta fundamental en este proceso es el diseño simplificado, tal como lo establece el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Este enfoque permite a profesionales especializados, como ingenieros, tecnólogos o técnicos electricistas certificados, llevar a cabo la planificación de instalaciones eléctricas en contextos específicos de manera más ágil y efectiva.

Según el RETIE, el diseño simplificado puede ser aplicado en varios escenarios, incluyendo instalaciones eléctricas de viviendas unifamiliares y bifamiliares, pequeños comercios, pequeñas industrias con capacidad instalable entre 7 kVA y 15 kVA, y ramales de redes aéreas rurales de hasta 50 kVA y 13,2 kV. Este método se centra en aspectos clave como el análisis de riesgos eléctricos, el diseño de sistemas de puesta a tierra, y la coordinación de protecciones contra sobre corrientes.

### 4.1 Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) establece una metodología para evaluar el nivel de riesgo en instalaciones eléctricas, considerando los elevados costos que enfrentan tanto el Estado como las entidades afectadas por accidentes de origen eléctrico. Una instalación se considera de peligro inminente o alto riesgo cuando carece de medidas de protección necesarias frente a condiciones que comprometen la salud o la vida de las personas, tales como arcos eléctricos, contactos directos e indirectos con partes energizadas, y sobretensiones, entre otros.

La evaluación del nivel de riesgo se realiza mediante una matriz de análisis que incluye los siguientes pasos: definir el factor de riesgo, determinar si es potencial o real, estimar las consecuencias y la frecuencia del riesgo, y categorizar el riesgo basándose en estas evaluaciones. Las decisiones y acciones para controlar el riesgo se toman de acuerdo con la valoración obtenida en la matriz.

Para determinar si una situación es de alto riesgo, el RETIE establece que un profesional competente debe evaluar la existencia de condiciones peligrosas, la inminencia del peligro, la gravedad de las posibles consecuencias, y la presencia de antecedentes comparables. Estas evaluaciones deben considerar la falta de medidas preventivas, defectos en equipos o conexiones, capacidad insuficiente de la instalación, violaciones de distancias de seguridad, y la presencia de materiales combustibles o explosivos en entornos peligrosos.

RIESGO A EVALUAR:	por _____ (al) o (en) _____				FUELE	FUELE	FUELE	FUELE	FUELE	
	EVENTO O EFECTO (Ej: Quemaduras)	FACTOR DE RIESGO (CAUSA) (Ej: Arco eléctrico)	FUENTE (Ej: Celda de 13,8 kV)	FUENTE						
POTENCIAL <input type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>		FRECUENCIA						
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores. Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
S	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
Evaluador: _____ MP: _____ Fecha: _____										

figura 1. Matriz para análisis del riesgo.

## 4.2 Diseño del sistema de puesta a tierra

El diseño del Sistema de Puesta a Tierra (SPT) según el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) se enfoca en garantizar la seguridad y eficiencia de las instalaciones eléctricas. Este diseño debe considerar conexiones eléctricas permanentes y accesibles, utilizando conductores correctamente dimensionados y materiales resistentes a la corrosión para asegurar la

durabilidad y confiabilidad del sistema. Es esencial calcular las tensiones de paso y contacto, garantizando que no excedan los valores seguros establecidos, y utilizar la resistividad del suelo como base de estos cálculos. Además, la resistencia del SPT debe cumplir con los valores de referencia específicos mencionados en la normativa. Todas las mediciones y verificaciones del SPT deben realizarse exhaustivamente antes de la puesta en funcionamiento del sistema eléctrico, asegurando así su conformidad con los estándares de seguridad y operatividad (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA , 2013).

APLICACIÓN	VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Estructuras y torrecillas metálicas de líneas o redes con cable de guarda	20 Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión.	1 Ω
Subestaciones de media tensión.	10 Ω
Protección contra rayos.	10 Ω
Punto neutro de acometida en baja tensión.	25 Ω
Redes para equipos electrónicos o sensibles	10 Ω

*figura 2: valores de referencia para resistencia de puesta a tierra*

La evaluación de la resistencia de puesta a tierra en suelos homogéneos constituye un aspecto crítico en el diseño y operación de sistemas eléctricos. Este componente esencial garantiza la seguridad de personas y equipos al proporcionar una vía eficiente para disipar corrientes de falla. En este contexto, se hace uso de las ecuaciones formuladas por Schwarz, que permiten calcular la resistencia de sistemas de puesta a tierra en suelos con características uniformes. Además, se aborda cómo mejorar la conductividad del suelo mediante la selección adecuada de materiales tales como la bentonita o sales específicas. Este enfoque teórico proporciona una base sólida para el diseño y la implementación efectiva de la función desarrollada en Python para sistemas de puesta a tierra, contribuyendo así a la seguridad y fiabilidad de las instalaciones eléctricas en diversos entornos. (CASTAÑO, 2010)

#### **Resistencia de los conductores de la malla:**

$$R1 = \frac{\rho}{2\pi nL} \left( \ln\left(\frac{2B}{\sqrt{2}as}\right) + \frac{K1B}{\sqrt{A}} - K2 \right)$$

#### **Resistencia de todas las varillas:**

$$R2 = \frac{\rho}{2\pi nL} \left[ \ln\left(\frac{2L}{r}\right) - 1 + \frac{2K1L}{\sqrt{A}} (\sqrt{n} - 1)^2 \right]$$

**Resistencia mutua (entre conductores y varillas):**

$$RM = \frac{\rho}{L} \left( \ln\left(\frac{2B}{L}\right) + \frac{K1 B}{\sqrt{A}} - K2 + 1 \right)$$

**Resistencia total del sistema:**

$$R = \frac{R1 R2 + RM^2}{R1 + R2 - 2 RM}$$

**Constantes geométricas:**

$$K1 = -0.05 \frac{L1}{L2} + 1.2$$

$$K1 = 0.1 \frac{L1}{L2} + 4.68$$

*Ecuaciones 1. Ecuaciones de Schwarz para suelo homogéneo. (CASTAÑO, 2010)*

Donde:

$\rho$ : RESISTIVIDAD DEL TERRENO

A: ÁREA

S: PROFUNDIDAD MALLA O VARILLAS

n: NÚMERO DE VARILLAS

r: RADIO VARILLA

a: RADIO CONDUCTOR

L: LONGITUD DE LA VARILLA

L1: LADO CORTO

L2: LADO LARGO

B: LONGITUD DEL CONDUCTOR

K1: CONSTANTE DE GEOMETRÍA 1

K2: CONSTANTE DE GEOMETRÍA 2

R1: RESISTENCIA DE LOS CONDUCTORES DE LA MALLA

R2: RESISTENCIA DE TODAS LAS VARILLAS ELECTRODO

RM: RESISTENCIA MUTUA ENTRE CONDUCTORES Y VARILLAS

R: RESISTENCIA TOTAL DEL SISTEMA

### 4.3 Cálculo y coordinación de protecciones contra sobre corrientes.

Los sistemas de protección eléctrica están diseñados para salvaguardar a las personas y los equipos, minimizar el impacto de las fallas y garantizar la vigilancia continua del Sistema de Potencia (SP). Su función principal es aislar rápidamente los elementos que presentan cortocircuitos o funcionamientos anormales. Las fallas en el sistema pueden ser internas, externas o relacionadas con la red, y causan efectos como sobrecalentamiento, fluctuaciones de voltaje, desbalances, inestabilidad y cortes prolongados de energía. La protección debe ser rápida y confiable, minimizando tanto disparos indeseados como omisiones de disparo. Para esto, se emplean sistemas de protección primarios y de respaldo. El diseño y aplicación de estos sistemas requieren una planificación cuidadosa basada en la configuración del sistema, estadísticas de fallas, y condiciones operativas y ambientales. La integración de estos elementos es esencial para mantener la estabilidad y seguridad del suministro eléctrico. (Castaño, 2003)

#### **4.3.1 Fusibles**

Los fusibles están destinados a proteger los conductores eléctricos contra sobre corrientes que podrían causar daños al aislamiento y riesgo de incendio. Estos dispositivos actúan interrumpiendo el circuito cuando la corriente supera la capacidad nominal del conductor. Los fusibles más simples utilizan hilos o láminas de aleaciones con bajas temperaturas de fusión, lo que permite que se fundan rápidamente ante una sobrecarga. Existen diversos tipos de fusibles, como los de acción lenta, diseñados para tolerar sobreintensidades breves sin fundirse inmediatamente. También hay fusibles específicos para redes eléctricas de alta tensión y ambientes salinos, con características especiales para resistir condiciones adversas. Normalmente estos se calculan sobredimensionando un 25% la corriente de operación. (bermúdez, 2009)

#### **4.3.2 Interruptores Automáticos (Breakers)**

A diferencia de los fusibles, los interruptores automáticos no se funden, sino que se utilizan para cortar automáticamente el suministro eléctrico en caso de sobrecargas o cortocircuitos. Se clasifican en varios tipos según sus mecanismos de acción: térmicos, magnéticos,

termomagnéticos y con limitador de corriente y al igual que los fusibles se calculan sobredimensionado la corriente de operación un 25%. (bermúdez, 2009)

- Dispositivos Térmicos: Utilizan un termostato bimetálico que se deforma con el calor generado por una corriente excesiva, provocando la apertura del circuito.
- Dispositivos Magnéticos: Emplean un electroimán que, al ser activado por una sobre corriente, separa los contactos para interrumpir el circuito.
- Dispositivos Termomagnéticos: Combinan las ventajas de los sistemas térmicos y magnéticos, ofreciendo una protección más completa y eficiente contra sobrecargas y cortocircuitos.
- Termomagnéticos Compensados: Incorporan un elemento bimetálico adicional para compensar las variaciones de temperatura ambiente, asegurando una desconexión uniforme.
- Termomagnéticos con Limitador de Corriente: Incluyen fusibles adicionales que impiden la reconexión hasta que sean reemplazados, utilizados en aplicaciones de alta capacidad.

#### **4.4 Cálculos de canalizaciones y volumen de encerramientos**

En el contexto de las instalaciones eléctricas, es esencial adherirse a las normativas y directrices que regulan el diseño y disposición de los cables en las bandejas porta cables. Estas regulaciones, como las descritas en el artículo 318-9 de la NTC 2050, establecen criterios para garantizar la seguridad y eficiencia de las instalaciones eléctricas. Estas pautas incluyen restricciones en cuanto al número máximo de cables permitidos en una bandeja, considerando factores como la sección transversal de los conductores y el tipo de bandeja utilizada. Además, se especifica cómo deben distribuirse los cables en la bandeja, teniendo en cuenta su sección transversal y la profundidad de la bandeja, diferenciando entre bandejas de escalera o batea ventilada y bandejas de fondo sólido, cada una con sus propias directrices específicas.

Estas regulaciones son fundamentales para asegurar la integridad y eficiencia de las instalaciones eléctricas, reduciendo riesgos como cortocircuitos o sobrecalentamiento debido a

una disposición inadecuada de los cables. Por lo tanto, deben ser consideradas rigurosamente durante la planificación y ejecución de proyectos eléctricos. Cumplir con estas normativas no solo garantiza la seguridad de los trabajadores y usuarios finales, sino que también contribuye a la fiabilidad y durabilidad a largo plazo de las instalaciones eléctricas, minimizando la probabilidad de fallos y optimizando su rendimiento. (Código Eléctrico Colombiano , 1998)

#### **4.5 Cálculos de regulación**

La caída de tensión se refiere a la disminución del voltaje en el extremo más lejano de un conductor cuando una corriente eléctrica lo recorre. Este fenómeno es causado por la resistencia del conductor al paso de la corriente, y está influenciado por factores como la longitud del conductor, su sección transversal (calibre), y la naturaleza del material del conductor. Por ejemplo, si la corriente entra en un conductor a 120 V, el voltaje en el punto más distante será menor. Esta pérdida de voltaje se compara con la pérdida de presión en un sistema hidráulico, donde la presión del agua disminuye en el punto más alejado debido a la longitud y sección de la tubería.

La caída de tensión puede afectar el correcto funcionamiento de dispositivos eléctricos, como lámparas y motores, que requieren una tensión específica. Para mitigar estos efectos, las normativas, como la Norma Técnica Colombiana – NTC 2050, limitan la caída de tensión en los conductores. Específicamente, los conductores de alimentadores deben seleccionarse para evitar una caída de tensión superior al 3% en la salida más lejana y una caída máxima del 5% en todo el sistema. El cálculo de la caída de tensión se realiza mediante fórmulas específicas para diferentes sistemas eléctricos (bifilar, trifilar, trifásico). La caída de tensión, en voltios, es igual a la intensidad de la corriente multiplicada por la resistencia del conductor y puede expresarse como un porcentaje de la tensión inicial. Para conductores de cobre a 25°C, la caída de tensión se calcula considerando la longitud, la corriente, y la sección del conductor. (bermúdez, 2009)

### **5. Resultados**

En el presente trabajo se desarrolló un paquete de funciones en Python destinado al cálculo y dimensionamiento de instalaciones eléctricas en baja tensión, siguiendo las directrices del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), diseño simplificado (artículo 10.1.2). Este paquete está diseñado para facilitar a los ingenieros eléctricos, tecnólogos y técnicos la realización de cálculos y la verificación del cumplimiento normativo de manera eficiente y precisa.

Las siguientes son las funciones que se desarrollaron en Python para el cálculo y dimensionamiento de instalaciones eléctricas en baja tensión:

## 5.1 función número 1:

### Función:

fun1()

### Descripción:

Evalúa los riesgos eléctricos presentes en una instalación, identificando posibles puntos críticos y proponiendo medidas de mitigación.

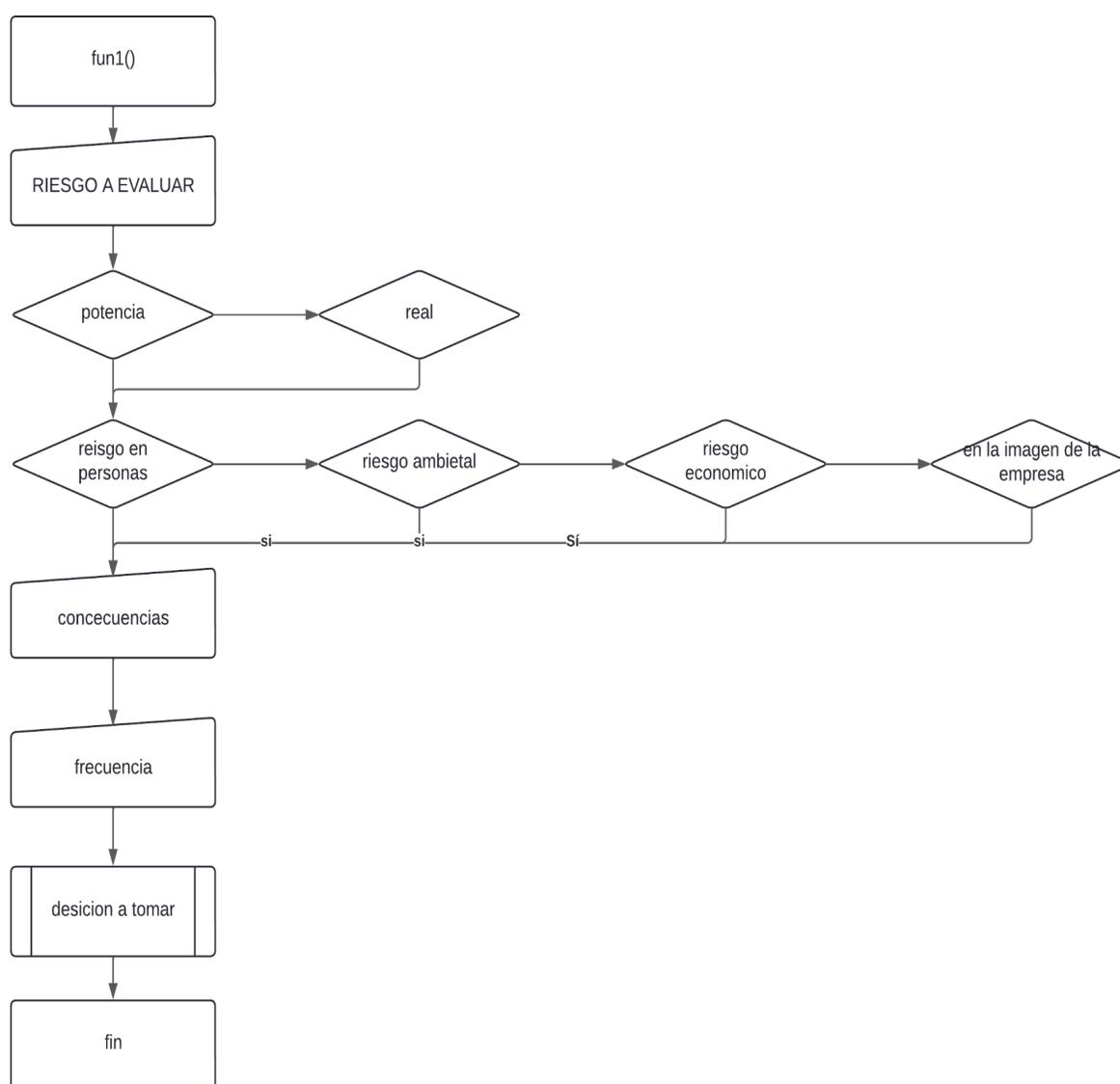


figura 3: Diagrama de flujo función 1

**Resultados:**

La función genera un reporte detallado que clasifica los riesgos según su nivel de criticidad y sugiere acciones correctivas específicas, como las acciones a tomar, uso de señalización adecuada y permisos para poder trabajar.

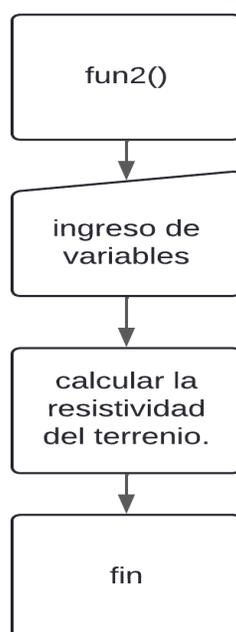
Código de la función ver Anexo 1.

**5.2 función número 2:****Función:**

fun2()

**Descripción:**

Calcula los parámetros necesarios para diseñar un sistema de puesta a tierra efectivo, considerando la resistividad del suelo y los requisitos normativos.



*figura 4: Diagrama de flujo función 2*

**Resultados:**

El diseño incluye la configuración óptima de electrodos de puesta a tierra, los materiales recomendados y los valores esperados de resistencia a tierra, asegurando la protección adecuada de personas y equipos.

Código de la función ver Anexo 2.

**5.3 función número 3:****Función:**

fun3()

**Descripción:**

La función 3 representa una herramienta integral para el diseño y análisis de instalaciones eléctricas en baja tensión, incorporando tres aspectos fundamentales: protecciones contra sobre corrientes, cálculos de regulación y dimensionamiento de canalizaciones.

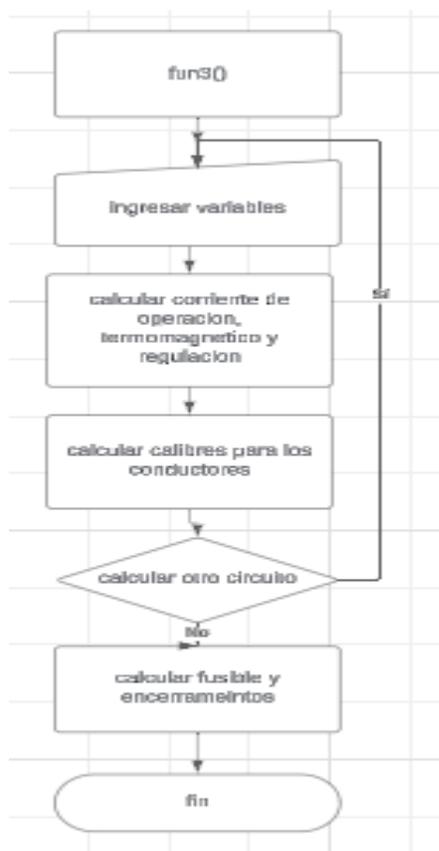


figura 5: Diagrama de flujo función 3

### Resultados:

La función 3 proporciona un enfoque integral para el diseño y análisis de instalaciones eléctricas, asegurando la protección adecuada contra sobre corrientes, la regulación óptima del sistema y el dimensionamiento correcto de las canalizaciones. Esta herramienta facilita la aplicación práctica de los principios establecidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), contribuyendo a la seguridad, eficiencia y fiabilidad de las instalaciones.

Código de la función ver Anexo 3.

## 6. Conclusiones

El paquete de funciones en Python facilita el cálculo y dimensionamiento de instalaciones eléctricas en baja tensión, agilizando el proceso y reduciendo el tiempo y

esfuerzo requeridos en comparación con los métodos manuales. Al ser una herramienta libre, es accesible para ingenieros, técnicos y estudiantes, mejorando la precisión y eficiencia en sus proyectos.

Este desarrollo minimiza errores en los cálculos, aumentando la seguridad y fiabilidad de las instalaciones eléctricas. Además, su capacidad de reutilización y personalización para distintos proyectos optimiza recursos y permite su integración con otras herramientas de análisis, fomentando la innovación y mejora continua en el diseño eléctrico.

## 7. Referencias bibliográficas

- bermúdez, s. M. (2009). *INSTALACIONES ELÉCTRICAS*. Medellín : Universidad Nacional de Colombia .
- CASTAÑO, J. S. (2010). *SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA*. Manizales: Editorial Blanecolor Ltda.
- Castaño, S. R. (2003). *Protección de Sistemas Eléctricos*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Código Eléctrico Colombiano . (1998). *Norma Técnica Colombiana 2050 (NTC 2050)*. Bogota.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA . (2013). *REGLAMENTO TECNICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS* . BOGOTA .
- Ministerio de minas y energía. (2013). *Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE)*. Bogota.