



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES  
Perfecta Combinación entre Energía e Intelecto



# **METODOLOGÍA PARA LA LOCALIZACIÓN RELATIVA DE HUECOS DE TENSIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**JUAN SALVADOR PINEDA SANTOS**

**CARLOS ANDRÉS MURILLO MORA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE**  
**TELECOMUNICACIONES**

**BUCARAMANGA**

**2012**



## **METODOLOGÍA PARA LA LOCALIZACIÓN RELATIVA DE HUECOS DE TENSIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Autores:

**JUAN SALVADOR PINEDA SANTOS**

**CARLOS ANDRÉS MURILLO MORA**

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Electricista

Director

**Johann Farith Petit Suárez**

Doctor en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Universidad Industrial de Santander

Codirector

**Jairo Blanco Solano**

Ingeniero Electricista

Universidad Industrial de Santander

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE**  
**TELECOMUNICACIONES**  
**BUCARAMANGA**

**2012**



## DEDICATORIAS

A mis padres Ariosto Murillo Garcés y Alcira Mora Cárdenas, por su amor, apoyo y confianza que me han brindado en cada momento, por la entrega y el deseo de aprender que me inculcaron a lo largo de mi vida.

A mis dos hermanas Leidy Rocío Murillo Mora y Leila Ximena Murillo Mora, quienes confiaron en mí a cada momento.

A toda mi familia Murillo Mora, a quienes guardo en el corazón.

A todas aquellas personas que de una u otra manera me brindaron su apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

Carlos Andrés Murillo Mora.

A Dios, todo poderoso por ser mi guía espiritual a lo largo de mi carrera

A mis Padres Gustavo y Julia Marina, por el apoyo, los esfuerzos y la confianza que depositaron en mí

A mis hermanos Javier, Hugo y Jesús por la confianza, el apoyo

A mi prima Karina, por sus consejos y confianza

A la familia Pineda Santos por todo el apoyo y los consejos que me dieron en toda esta formación

A todos mis compañeros de universidad que de una u otra forma contribuyeron a finalizar esta meta

Juan Salvador



## **AGRADECIMIENTOS**

Los más sinceros agradecimientos a:

Al profesor Johann Farith Petit Suárez por su orientación y apoyo incondicional en el desarrollo de este proyecto.

Al ing Jairo Blanco Solano por orientación, compromiso y apoyo contante durante el desarrollo de este proyecto

A todos los profesores vinculados a la escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones por su formación académica y profesional durante el tiempo de nuestra carrera.



## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	20
1. GENERALIDADES .....	22
1.1 ANTECEDENTES .....	22
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	22
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	23
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	24
1.5 CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA .....	24
1.6 GENERALIDADES DE LOS HUECOS DE TENSIÓN .....	25
1.7 CARACTERÍSTICAS DE LOS HUECOS DE TENSIÓN [5]. .....	26
1.8 CAUSAS Y EFECTOS DE LOS HUECOS DE TENSIÓN .....	29
1.8.1 Fallas en sistemas de energía eléctrica .....	30
1.8.2 Arranque de motores de inducción .....	31
1.8.3 Energización de transformadores .....	32
2. ANÁLISIS DE LAS METODOLOGÍAS EXISTENTES EN LA LITERATURA.....	32
2.1 LOCALIZACIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN BASADOS EN LA SECUENCIA POSITIVA DE LA CORRIENTE. [1] .....	32
2.1.1 Generalidades .....	32
2.1.2 Descriptores.....	33
2.1.3 Algoritmo propuesto.....	36
2.2 LOCALIZACIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN APARTIR DE MEDICIONES DE TENSIÓN Y CORRIENTE.....	37
2.2.1 Generalidades .....	37
2.2.2 Descriptores.....	41
2.2.3 Algoritmo propuesto.....	42
2.3 LOCALIZACIÓN RELATIVA DE HUECOS DE TENSIÓN A PARTIR DE LA MEDICIÓN DE TENSIÓN EN LOS LADOS PRIMARIO Y SECUNDARIO DE UN TRANSFORMADOR. [4].....	44



2.3.1 Generalidades .....	44
2.3.2 Descriptores.....	45
2.3.3 Algoritmo propuesto.....	46
3. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LOS ALGORITMOS EXISTENTES.....	48
3.1 LOCALIZACIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN MEDIANTE LA CORRIENTE DE SECUENCIA POSITIVA (RPSC) .....	48
3.1.1 Corriente de secuencia positiva para una falla localizada agua arriba. .	48
3.1.2 Corriente de secuencia positiva para una falla localizada agua abajo...	51
3.1.3 Diagrama de flujo del método. ....	54
3.2 LOCALIZACIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN A PARTIR DE MEDICIONES DE TENSIÓN Y CORRIENTE.....	55
3.2.1 Corriente eficaz durante una falla monofásica. ....	56
3.2.2 Corriente eficaz durante una falla bifásica .....	57
3.2.3 Corriente eficaz durante una falla trifásica.....	58
3.3 LOCALIZACIÓN RELATIVA DE HUECOS DE TENSIÓN A PARTIR DE LA MEDICIÓN DE TENSIÓN EN LOS LADOS PRIMARIO Y SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR. ....	60
3.3.1 Huecos de tensión originados aguas arriba.....	61
3.3.2 Huecos de tensión originados aguas abajo. ....	63
4. PRUEBAS CON PERTURBACIONES REALES REGISTRADAS EN ENDESA. ....	67
4.1 LOCALIZACIÓN RELATIVA DE HUECOS DE TENSIÓN BASADOS EN LA SECUENCIA POSITIVA DE LA CORRIENTE. ....	67
4.1.1 Hueco de tensión monofásico localizado aguas abajo. ....	68
4.1.2 Hueco de tensión monofásico localizado aguas arriba.....	68
4.1.3 Hueco de Tensión bifásico localizado aguas abajo .....	69
4.1.4 Hueco de tensión bifásico localizado aguas arriba .....	70
4.1.5 Hueco de tensión trifásico localizado aguas abajo .....	70
4.1.6 Hueco de tensión trifásico localizado aguas arriba.....	71
4.1.7 Energización de transformadores aguas abajo generados por huecos trifásicos.....	71
4.1.8 Energización de transformadores aguas abajo.....	72



4.1.9 Evaluación del algoritmo.....	73
4.2. LOCALIZACIÓN RELATIVA DE HUECOS DE TENSIÓN A PARTIR DE MEDICIONES DE TENSIÓN Y CORRIENTE.....	74
4.2.1 Corriente eficaz en una fallas en las líneas .....	74
4.2.2 Corriente eficaz de una falla monofásica.....	74
4.2.3 Corriente de una falla bifásica .....	75
4.2.4 Corriente eficaz de una falla trifásica .....	75
4.2.5 Corriente eficaz de la saturación de transformadores.....	76
4.3 LOCALIZACIÓN RELATIVA DE HUECOS DE TENSIÓN A PARTIR DE LA MEDICIÓN DE TENSIÓN EN LOS LADOS PRIMARIO Y SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR.....	77
5. DESARROLLO DE LA NUEVA PROPUESTA METODOLÓGICA BASADA EN MEDICIONES DE SOLO TENSIÓN.....	77
5.1 IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS DESCRIPTORES RELEVANTES.....	78
5.1.1 Secuencia positiva de la tensión.....	78
5.1.2 Valores eficaces de la tensión.....	80
5.2 ANÁLISIS DE LOS DESCRIPTORES.....	80
5.2.1 Fallas aguas arriba del medidor $M_1$ .....	80
5.2.2 Fallas aguas abajo del medidor $M_2$ .....	82
5.2.3 Fallas ocurridas entre los dos medidores .....	83
5.2.4 Selección de umbrales.....	84
5.3 ALGORITMO DE DECISIÓN .....	85
6. VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	87
6.1 PRUEBAS CON HUECOS DE TENSIÓN SIMULADOS AGUAS ARRIBA..	87
6.1.1 Hueco de tensión monofásico localizado aguas arriba.....	87
6.1.2 Hueco de tensión trifásico localizado aguas arriba.....	89
6.1.3 Hueco de tensión bifásico localizado aguas arriba.....	89
6.2 PRUEBAS CON HUECOS DE TENSIÓN SIMULADOS AGUAS ABAJO....	90
6.2.1 Hueco de tensión monofásico- aguas abajo.....	90
6.2.2 Hueco de tensión bifásico localizado aguas abajo.....	92
6.2.3 Hueco de tensión trifásico localizado aguas abajo .....	93



6.3 PRUEBAS CON HUECOS DE TENSIÓN SIMULADOS ENTRE LOS DOS MEDIDORES. ....	95
6.3.1 Hueco de Tensión Monofásico localizado entre los dos medidores. ....	95
6.3.2 Hueco de tensión bifásico localizado entre los dos medidores. ....	97
6.3.3 Hueco de tensión trifásico localizado entre los dos medidores. ....	99
6.4 SELECCIÓN DE UMBRALES Y ALGORITMO DE DECISIÓN. ....	100
6.5 RESULTADOS. ....	101
6.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA NUEVA METODOLOGÍA. ....	105
6.6.1 Ventajas. ....	105
6.6.2 Desventajas. ....	105
7. CONCLUSIONES. ....	106
8. BIBLIOGRAFÍA. ....	108

## TABLA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Valores eficaz de un Hueco de Tensión Monofásico [5].</i>	25
<i>Figura 2. Hueco de tensión [5].</i>	27
<i>Figura 3. Punto de inicio del hueco de tensión [5].</i>	27
<i>Figura 4. Punto de recuperación de un hueco de tensión [5].</i>	28
<i>Figura 5. Hueco de tensión [5].</i>	28
<i>Figura 6. Salto de ángulo de fase. <math>\theta = \pi/4</math> [5].</i>	29
<i>Figura 7. Falla trifásica [5].</i>	30
<i>Figura 8. Falla monofásica [5].</i>	30
<i>Figura 9. Falla bifásica [5].</i>	31
<i>Figura 10. Falla bifásica a tierra [5].</i>	31
<i>Figura 11. Corriente de secuencia positiva.</i>	33
<i>Figura 12. Diagrama de un sistema de distribución.</i>	34
<i>Figura 13. Algoritmo para la localización relativa a partir de corriente de secuencia positiva.</i>	36
<i>Figura 14. Falla trifásica a línea tierra [2].</i>	38
<i>Figura 15. Ejemplo de un sistema para definir la dirección del hueco durante el arranque de un motor de inducción.</i>	39
<i>Figura 16. Sistema de potencia con transformador [2].</i>	40
<i>Figura 17. Algoritmo relacionando corriente y potencia.</i>	43
<i>Figura 18. Circuito equivalente del sistema.</i>	45
<i>Figura 19. Falla trifásica en el lado primario del transformador.</i>	46
<i>Figura 20. Algoritmo basado en registros de tensión en los lados del transformador.</i>	47
<i>Figura 21. Corriente de secuencia positiva de una falla monofásica.</i>	49
<i>Figura 22. Corriente de secuencia positiva de una falla bifásica a tierra.</i>	49
<i>Figura 23. Corriente de secuencia positiva de una falla trifásica.</i>	50
<i>Figura 24. Corriente de secuencia positiva de una falla monofásica.</i>	51
<i>Figura 25. Corriente de secuencia positiva de una falla bifásica.</i>	52
<i>Figura 26. Corriente secuencia positiva de una falla trifásica.</i>	53
<i>Figura 27. Algoritmo de corriente de secuencia positiva.</i>	55
<i>Figura 28. Corriente eficaz de una falla monofásica.</i>	56
<i>Figura 29. Corriente eficaz de una falla bifásica.</i>	57
<i>Figura 30. Corriente eficaz de una falla bifásica.</i>	58
<i>Figura 31. Fallas bifásica a tierra.</i>	60
<i>Figura 32. Fallas bifásica a tierra.</i>	61
<i>Figura 33. Tensión eficaz medida en los lados del transformador.</i>	62
<i>Figura 34. Tensión eficaz medida en los lados del transformador.</i>	63



Figura 35. Tensión eficaz medida en los lados del transformador .....	64
Figura 36. Tensión eficaz vista del transformador.....	65
Figura 37. Algoritmo de solo tensión.....	67
Figura 38. Corriente de secuencia positiva de una falla monofásica localizada aguas abajo del punto de medida. ....	68
Figura 39. Corriente de secuencia positiva de una falla monofásica localizada aguas arriba del punto de medida.....	68
Figura 40. Corriente de secuencia positiva de una falla bifásica localizada aguas abajo del punto de medida. ....	69
Figura 41. Corriente de secuencia positiva de una falla bifásica localizada aguas arriba del punto de medida.....	70
Figura 42. Corriente de secuencia positiva de una falla trifásica localizada aguas abajo del punto de medida. ....	71
Figura 43. Corriente de secuencia positiva de una falla trifásica localizada aguas arriba del punto de medida.....	71
Figura 44. Energización del transformador. ....	72
Figura 45. Energización del transformador. ....	72
Figura 46. Corriente de secuencia positiva para fallas localizadas aguas arriba del medidor .....	73
Figura 47. Corriente eficaz para una falla monofásica .....	74
Figura 48. Corriente eficaz para una falla bifásica .....	75
Figura 49. Corriente eficaz para una falla trifásica .....	76
Figura 50. Corriente eficaz para una saturación del transformador.....	76
Figura 51. Corriente eficaz para una fallas multi estado .....	77
Figura 52. Equivalente de secuencia positiva. [7] .....	78
Figura 53. Fallas aguas arriba del medidor $M_1$ . ....	81
Figura 54. Fallas aguas abajo del medidor $M_2$ .....	82
Figura 55. Fallas generadas en el sistema de potencia para identificación de los descriptores.....	82
Figura 56. Fallas localizada en medio de los dos medidores.....	84
Figura 57. Sistema de potencia implementando dos medidores.....	85
Figura 58. Algoritmo de la nueva metodología solo tensión.....	86
Figura 59. Tensión eficaz vista en los dos monitores.....	87
Figura 60. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición .....	88
Figura 61. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición .....	89
Figura 62. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición .....	90
Figura 63. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición .....	91
Figura 64. Tensión eficaz medida en el monitor $M_2$ .....	91
Figura 65. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición .....	92
Figura 66. Tensión eficaz medida en el monitor $M_2$ .....	93



<i>Figura 67. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición .....</i>	94
<i>Figura 68. Tensión eficaz medida en el monitor <math>M_2</math> .....</i>	95
<i>Figura 69. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición .....</i>	96
<i>Figura 70. Tensión eficaz medida en el monitor <math>M_2</math> .....</i>	97
<i>Figura 71. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición .....</i>	98
<i>Figura 72. Tensión eficaz medida en el monitor <math>M_2</math> .....</i>	98
<i>Figura 73. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición .....</i>	99
<i>Figura 74. Tensión eficaz medida en el monitor <math>M_2</math> .....</i>	100
<i>Figura 75. Algoritmo desarrollado en el sistema de prueba [12]. .....</i>	104



## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla I. Análisis de resultado para la localización relativa de huecos de tensión basado en la corriente de secuencia.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla II. Análisis de resultados para el método de localización relativa de huecos basados en la medición de tensión y corriente.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla III. Análisis de resultados para el método de localización relativa de huecos partir de la medición de tensión en los lados primario y secundario del transformador. ....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla IV. Análisis de resultados a partir de la base de ENDESA. ....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla V. Análisis de resultados de la nueva metodología .....</i>	<i>101</i>



## NOMENCLATURA

<b>UIS</b>	Universidad Industrial de Santander
<b>IEEE</b>	Institute for Electric and Electronic Engineer
<b>ATP</b>	Software para la Simulación de Transitorios Electromagnéticos.
<b>ENDESA</b>	Empresa de Distribución Eléctrica de España
<b>CN2</b>	Herramienta para la Optimización de los umbrales en los algoritmos.
<b>RPSC</b>	Relación de corriente de secuencia positiva
<b>PNF</b>	Factor Positivo-Negativo.



## **TÍTULO: METODOLOGÍA PARA LA LOCALIZACIÓN RELATIVA DE HUECOS DE TENSIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.\***

### **AUTORES:**

JUAN SALVADOR PINEDA SANTOS

CARLOS ANDRÉS MURILLO MORA\*\*

### **PALABRAS CLAVES:**

Huecos de Tensión, Calidad de Energía, localización relativa, descriptores, aguas arriba, aguas abajo, algoritmos.

### **DESCRIPCIÓN:**

Este trabajo de grado está enfocado en la importancia actual que tiene la calidad de energía en los sistemas eléctricos. En materia de calidad de energía los huecos de tensión no son tan perjudiciales para la industria como las interrupciones, pero ocurren con mayor frecuencia afectando el desempeño de nuevas tecnologías y equipos sensibles a cambios de tensión, por lo cual surge la necesidad de incorporar métodos de localización relativa para su aplicación a registro de tensión y corriente obtenidos a partir de equipos de monitorización. La finalidad de la localización relativa de huecos de tensión consiste en la implementación de nuevas tecnologías por parte de las empresas de transmisión y distribución para disminuir la ocurrencia de perturbaciones en la red. Se desarrolla una metodología por medio de descriptores que permiten diagnosticar la localización relativa de huecos de tensión. Esta técnica permite determinar si la falla fue ocasionada aguas arriba, aguas abajo o en medio de dos medidores en la red eléctrica. Como caso de estudio se aplica la metodología a los registros suministrados por la empresa de distribución de energía eléctrica de España ENDESA, los cuales son registros de huecos de tensión ocasionadas por arranque de motores inducción, saturación de transformadores o fallas en la red. La implementación y validación de la metodología se hace utilizando la plataforma Matlab usando huecos de tensión sintéticos generada mediante ATP (huecos vistos desde el lado primario y secundario de un transformador y generados en diferentes puntos de la red).

\* Proyecto de Grado: Trabajo de Investigación

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director Johann F. Petit Suárez. Codirector Jairo Blanco Solano.



## **TITLE: METHODOLOGY FOR THE LOCATION OF SAGS ON SYSTEMS VOLTAGE ELECTRICITY.\***

### **AUTHORS:**

JUAN SALVADOR PINEDA SANTOS

CARLOS ANDRÉS MURILLO MORA\*\*

### **KEYWORDS:**

Voltaje Sags, Quality of energy, relative location, descriptors, upstream, abajostream, algorithms.

### **DESCRIPCIÓN:**

This work focuses on the extent current importance that has the power quality in electrical systems. In terms of power quality voltage dips are not as harmful to the industry as interruptions, but occur most frequently affecting the performance of new technologies and equipment sensitive to voltage changes, thus arises the need to incorporate methods for application location relative to record voltage and current obtained from monitoring equipment. The purpose of the relative location of voltage sags with the implementation of new technologies by the transmission companies and distribution to reduce the occurrence of network disturbances. A methodology is developed using descriptors that can diagnose the relative location of voltage sags. This technique allows to determine if the failure was caused upstream, abajostream or in the middle of two meters on the grid. As a case study methodology is applied to records provided by the company that distributes electric power in Spain ENDESA, which are records of voltage sags caused by induction motor starting, transformer saturation or network failures. The implementation and validation of the methodology is done using the Matlab platform using synthetic sags generated by ATP (holes seen from the primary and secondary of a transformer and generated at different points in the network).

\* Graduation Project: Research Work

\*\* Faculty of Mechanical Engineering and Physical. School of Electrical, Electronics and Telecommunications. Director Johann F. Petit Suárez. Codirector Jairo Blanco Solano.



## INTRODUCCIÓN

El creciente desarrollo de la industria enfrenta a nuevos problemas de calidad en cuanto a la energía, en especial al uso de equipos no lineales que aumentan los niveles de distorsiones armónicas y que conllevan a la generación de perturbaciones electromagnéticas a lo largo del sistema (huecos de tensión, subidas de tensión, otras). La Universidad Industrial de Santander en su compromiso de proponer soluciones a los problemas de calidad de energía eléctrica mencionados anteriormente, brinda la oportunidad a sus estudiantes de realizar investigaciones en los aspectos relacionados con fallas en los sistemas de potencia, instalaciones eléctricas, redes inteligentes, entre otras.

En esta oportunidad se analiza la importancia de la calidad de la energía eléctrica en los sistemas de distribución, haciendo énfasis en el cliente final. Los huecos de tensión ocasionan pérdidas económicas en el sector eléctrico, siendo la industria y los usuarios residenciales son los más afectados por este fenómeno. Por tanto la localización relativa de los huecos de tensión proporciona la información permite determinar la responsabilidad en la generación de la perturbación en la red eléctrica. De esta manera se hace indispensable la localización relativa de los huecos de tensión que afectan el buen funcionamiento de los sistemas de eléctricos y la calidad de suministro de energía.

Los huecos de tensión son ocasionados principalmente por fallas en la red, sin embargo también pueden ser generados por la saturación de transformadores, la energización de motores de inducción, entre otras [5]. El usuario requiere un servicio de energía eléctrica donde no se presente este tipo de perturbaciones, debido a la existencia de equipos sensibles a los cambios de tensión, de tal forma que cualquier variación conlleva a un mal funcionamiento o al daño físico del mismo ocasionando grandes pérdidas económicas. Los aspectos anteriormente mencionados despiertan el interés por estudiar los huecos de tensión, se analiza la localización relativa con el fin de plantear metodologías que permitan conocer el origen de la falla en los sistemas de distribución.

Se hace una pequeña caracterización de huecos de tensión que se presenta en la red, con el fin de extraer información necesaria para la descripción cualitativa/cuantitativa, útil para la clasificación de los huecos de tensión y su posible localización relativa en el sistema.



Se diseñan algoritmos que utilizan señales de tensión y corriente registrados a través de equipos de monitorización ubicados en diferentes puntos de la red. Estos algoritmos relacionan registros de tensión y corriente durante el estado de prefalla y falla del evento, con el fin de realizar un análisis para estimar la localización relativa de la falla, teniendo en cuenta la naturaleza topológica de la red.

Los algoritmos analizados en cada una de las metodologías son implementados en *Matlab*, herramienta muy utilizada en la academia debido a que su programación es de conocimiento para las carreras de ingenierías. Adicionalmente, se utilizan otros programas como *ATPDraw* para la simulación de sistemas de distribución, el *CN2* para la extracción de conocimiento en optimización de los datos, *Excel* para el registro y análisis de los resultados obtenidos mediante la simulación.

Como aporte importante para la ejecución del proyecto, se analizan cada una de las metodologías existentes con la base de datos de huecos de tensión suministrados por la empresa de distribución de energía de España (ENDESA), y con los huecos de tensión sintéticos originados en ATP.



## 1. GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES

La calidad del suministro de energía eléctrica es un problema que involucra a las empresas prestadoras del servicio eléctricas, las industrias y los consumidores en general. La finalidad de estas empresas es brindar un servicio sin interrupciones al cliente, quien se ve afectado por los diferentes fenómenos electromagnéticos que se presentan en el sistema.

Los estudios de localización de huecos de tensión son considerados de gran importancia debido al alto índice de ocurrencia de fallas en los sistemas de distribución de energía eléctrica. Vale la pena resaltar que la localización relativa de huecos de tensión puede determinar los entes responsables de interrupciones en el suministro de fluido eléctrico.

El tema de localización relativa de huecos de tensión ha sido abordado en artículos [1], [2] [3] y [4] donde presentan metodologías para determinar la localización relativa de los huecos de tensión basadas en algunos descriptores. Se presenta como causas de huecos de tensión las fallas de red, el arranque de motor de inducción y la energización de los transformadores. Los descriptores propuestos se basan en las características de los huecos y a partir de las mediciones de tensión y corriente se determina la localización relativa del hueco de tensión [5].

Anteriormente se han planteado trabajos en la Universidad Industrial de Santander donde la caracterización y la clasificación de los huecos de tensión han sido el principal objetivo. En ellos se expone una metodología que permite conocer el tipo de hueco según la causa que lo provocó utilizando como descriptores el voltaje remanente y el factor PNF (Factor positivo-negativo) [5].

### 1.2 JUSTIFICACIÓN

Este proyecto pretende impactar los estudios sobre la calidad de energía, específicamente en la localización relativa de los huecos de tensión a nivel de sistemas de distribución. Con el fin de acrecentar los conocimientos de calidad de energía eléctrica, se encuentra comprometido el grupo de sistemas de energía eléctrica (GISEL).

Inicialmente se realizó un trabajo sobre la causa de los huecos de tensión, analizando las fallas que se presenta en los sistemas de distribución. Este trabajo de grado fue presentado en el 2009, titulado como “METODOLOGÍA PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA CAUSA DE HUECOS DE TENSIÓN: ANÁLISIS DE



FALLAS” [5]. Este trabajo brinda información importante relacionada con la clasificación de los principales problemas en la industria de energía eléctrica en nuestro país.

Con la localización relativa de los huecos de tensión se puede dar una posible solución al problema y de esta manera tener un mejor control, manejo y confiabilidad del sistema de distribución eléctrico.

Los constantes problemas de calidad de energía eléctrica en el sector industrial y residencial enfrentan a las empresas prestadoras del servicio a la búsqueda de solución que permitan brindar una mayor confiabilidad frente a las persistentes fallas en la red. De acuerdo a lo anterior, se hace necesaria la implementación de una nueva metodología que permiten detectar la localización relativa de los huecos de tensión, permitiendo:

- Obtener un conocimiento más amplio sobre el origen de los huecos de tensión y poder tomar las decisiones correctas a la hora de actuar ante una perturbación en la red, optimizando el recurso humano.
- Identificar la localización relativa de los huecos de tensión ocasionados en la red de distribución, para controlar este tipo de perturbaciones y evitar largos periodos de tiempo sin flujo de energía eléctrica en el sistema, siendo un problema continuo de calidad de energía eléctrica.

### 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los principales eventos de tensión que afecta la calidad de la energía eléctrica son los huecos o caídas de tensión. Estos problemas son muy comunes en la mayoría de los sistemas eléctricos, originándose al presentarse fallas de red en el sistema, arranque de motores de inducción, saturación de transformadores, entre otros. En el sector industrial son más notorias las pérdidas económicas por la existencia de huecos de tensión, interfiriendo en el correcto funcionamiento de los equipos que tienen un alto grado de sensibilidad ante este tipo de perturbaciones. Dichos equipos son utilizados en gran medida en la automatización de procesos y los ejemplos más comunes son los controladores lógicos programables (PLCs), sistemas de control, computadores, la apertura de relés por subtensión, entre otros [1] [2].

Con la localización relativa de estas perturbaciones se puede estimar la responsabilidad de ocasionar fallas en la red por las empresas encargadas de la generación, transmisión, distribución o bien sea los clientes que conecten cargas inadecuadas que afecten significativamente el buen funcionamiento de la red.



## 1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo general del proyecto es implementar una metodología para la localización relativa de huecos de tensión en sistemas de distribución de energía eléctrica.

### Objetivos específicos:

- Realizar una revisión bibliográfica de metodologías existentes para la localización relativa de los huecos de tensión que se presentan en los sistemas de distribución de energía eléctrica.
- Estudiar y analizar los diferentes métodos para la localización relativa de huecos de tensión que se presentan en los sistemas de distribución de energía eléctrica.
- Implementar un algoritmo que permita establecer por medio de descriptores la localización relativa de un hueco de tensión.
- Proponer descriptores basados únicamente en registros de tensión, como una metodología alternativa para la localización relativa de los huecos de tensión.

## 1.5 CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

“La calidad de la energía eléctrica es el conjunto de características físicas de las señales de tensión y corriente, para un tiempo y lugar determinados, que tienen el propósito de satisfacer las necesidades del cliente” [10].

La calidad de la energía eléctrica se ve afectada por diferentes eventos o fenómenos electromagnéticos que se presentan en el sistema eléctrico. Estas perturbaciones electromagnéticas causadas principalmente por: descargas atmosféricas, fallas en el sistema, cargas no lineales, maniobras (como conmutación de bancos de condensadores) y otras operaciones que se realizan en el sistema. Estos fenómenos se clasifican según [NTC 5000, 02] e [IEEE 1159, 95] de la siguiente manera: Transitorios Electromagnéticos (Tipo impulso y oscilatorio), armónicos, fluctuaciones de tensión (Flicker), huecos de tensión (sags, dips), sobretensiones (swells), desbalances de tensión, interrupciones, muescas de tensión (notching) y variaciones de frecuencia. A continuación se presenta la definición y caracterización de algunos fenómenos [5], [9].

Los huecos de tensión no son tan perjudiciales como las interrupciones, pero ocurren con mayor frecuencia afectando el funcionamiento de muchos equipos sensibles a cambios de tensión. Dada la importancia que tiene los huecos de



tensión en la calidad de energía eléctrica se ve la necesidad de hacer estudios a estas perturbaciones para garantizar un buen suministro de energía eléctrica.

## 1.6 GENERALIDADES DE LOS HUECOS DE TENSIÓN

Se define como la reducción del valor eficaz de la tensión, según el estándar [IEEE std 1159, 95] y la norma colombiana [NTC 5000, 02]. La reducción de la tensión va desde un 0.1 y 0.9 p.u. de su valor nominal, y su duración es de 8.33 ms a 1 minuto [5].

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC-CEI) define el hueco de tensión como la caída repentina del valor eficaz de la tensión entre 1 y el 90% con una duración entre 10ms y 1 minuto. A continuación se muestra un hueco de tensión registrado en un sistema de distribución.

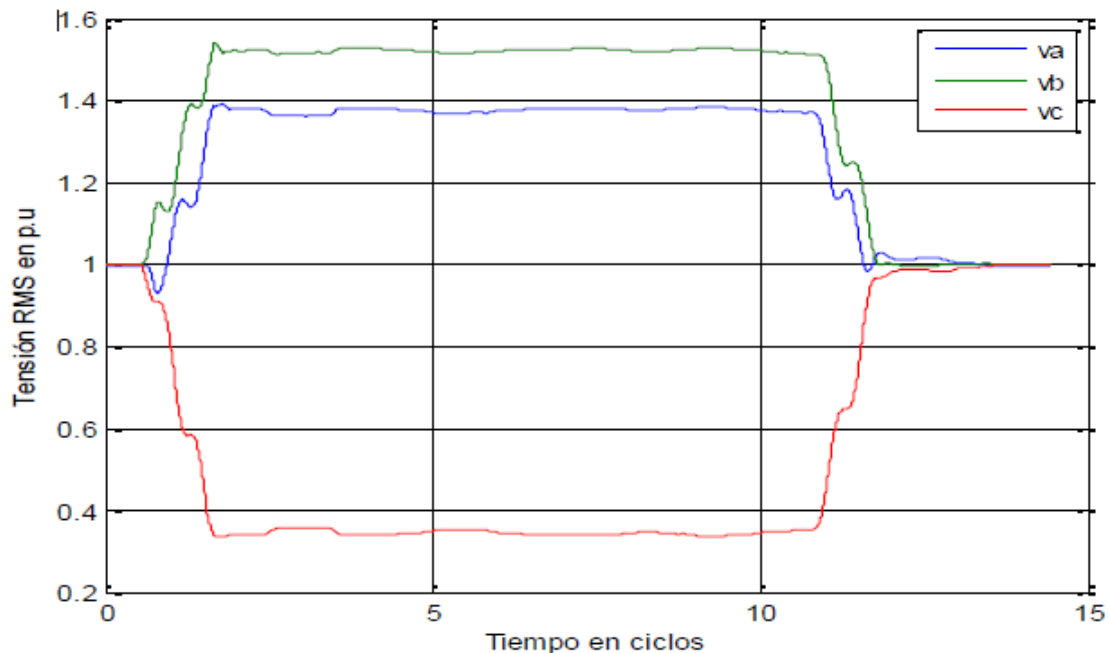


Figura 1. Valores eficaz de un Hueco de Tensión Monofásico [5].

En la Figura 1 se presenta la secuencia de valores eficaces para un hueco de tensión originado por una falla de red monofásica en la fase C. La fase que sufre la perturbación tiene una disminución de aproximadamente el 65 % de su tensión nominal alrededor de 9 ciclos. Las dos fases restantes sufren una sobretensión para compensar la caída en la fase C. Las pendientes de caída y de recuperación



de la tensión son acentuadas, determinando una característica rectangular en el hueco de tensión. Usualmente estas características son utilizadas para clasificar los huecos de tensión, tal como se muestra a continuación.

## 1.7 CARACTERÍSTICAS DE LOS HUECOS DE TENSIÓN [5].

### 1.7.1.1 Magnitud ( $U_H$ ).

La magnitud del hueco de tensión es la tensión eficaz remanente durante el evento, en porcentaje de la tensión prefalla, que generalmente es la nominal. Esta definición relaciona inversamente la magnitud del hueco de acuerdo a la severidad del mismo. En la Figura 2 se señala tal característica como  $U_H$ , correspondiente a una magnitud de 0,2 p.u.

### 1.7.1.2 Caída de tensión ( $\Delta U$ )

La caída de tensión es la diferencia entre la tensión eficaz prefalla y la tensión eficaz durante el evento. Este parámetro permite establecer la severidad del hueco de tensión y sirve para cuantificar la desviación de la tensión de su valor ideal. En la Figura 2,  $\Delta U$  tiene una magnitud de 0,8 p.u.

### 1.7.1.3 Duración ( $\Delta t$ )

La duración del hueco de tensión está determinada por el tiempo durante el cual la tensión eficaz tiene un valor menor al 90% de su valor nominal. Debido a que la gran mayoría de los huecos de tensión son ocasionados por cortocircuitos en el sistema eléctrico, es de esperarse que la duración esté determinada principalmente por el tiempo de despeje de la falla. Por esta razón, la duración del evento no es un buen descriptor para determinar la causa de la perturbación. En el ejemplo de la Figura 2, la duración es de 200 ms.

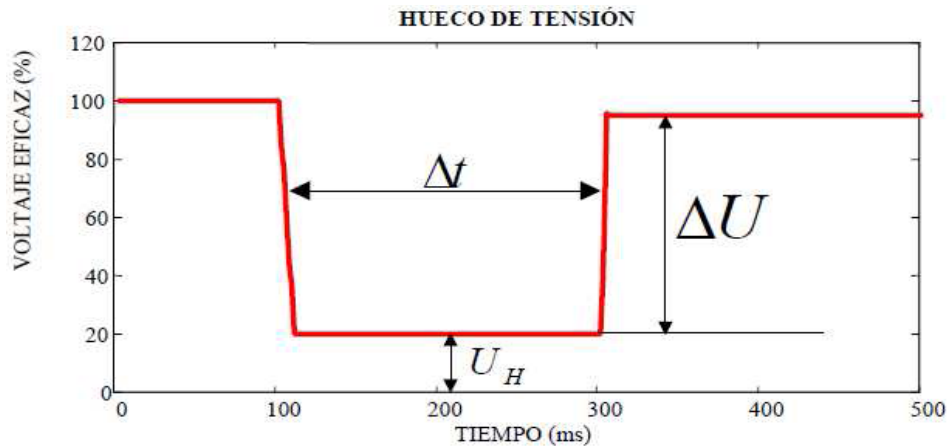


Figura 2. Hueco de tensión [5].

#### 1.7.1.4 Punto de inicio del hueco de tensión

El punto de inicio del hueco es el ángulo de fase de la onda de tensión en el momento en que dicha onda presenta una caída significativa con respecto a su forma de onda normal. Generalmente se utiliza como punto de referencia el último cruce por cero ascendente de la tensión fundamental prefalla. En la Figura 3 se observa el ángulo de inicio de un hueco de tensión, identificado como el ángulo  $\theta_i$ .

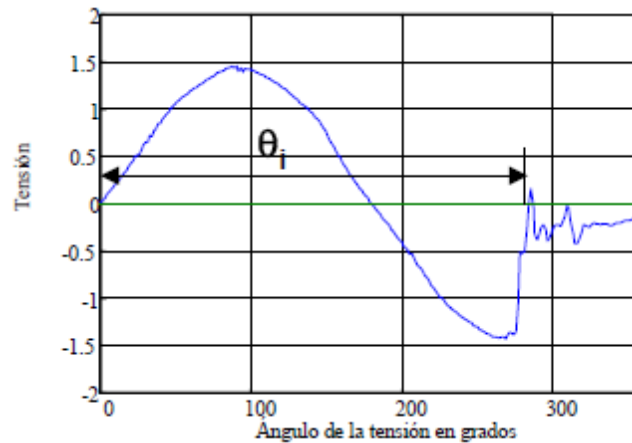


Figura 3. Punto de inicio del hueco de tensión [5].

#### 1.7.1.5 Punto de recuperación de un hueco de tensión

Este punto corresponde al ángulo de la tensión en el momento en que la forma de onda de la tensión muestra una recuperación significativa; esto corresponde a un



punto de cruce por cero de la corriente debido a que el sistema es principalmente inductivo y utilizando como referencia la tensión prefalla.

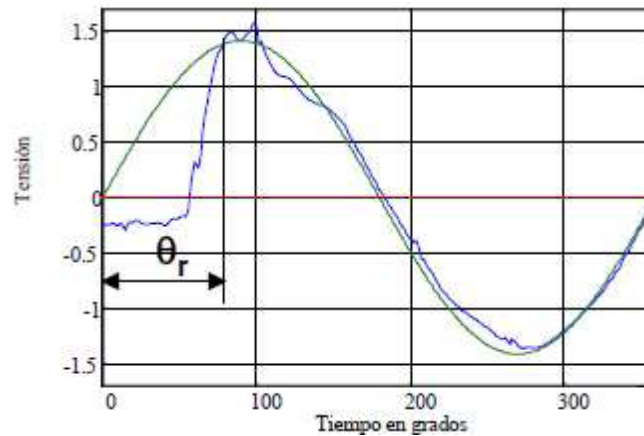


Figura 4. Punto de recuperación de un hueco de tensión [5].

En la Figura 4, se observa que cuando la tensión se recupera y se asemeja a la frecuencia fundamental de la tensión, el ángulo  $\theta_r$  toma el valor del ángulo de fase que lleva en este punto dicha tensión de referencia.

### 1.7.1.6 Tensión pérdida

Esta característica corresponde a la diferencia entre la tensión real que habrían sin la presencia de un hueco de tensión y la tensión existente durante una perturbación.

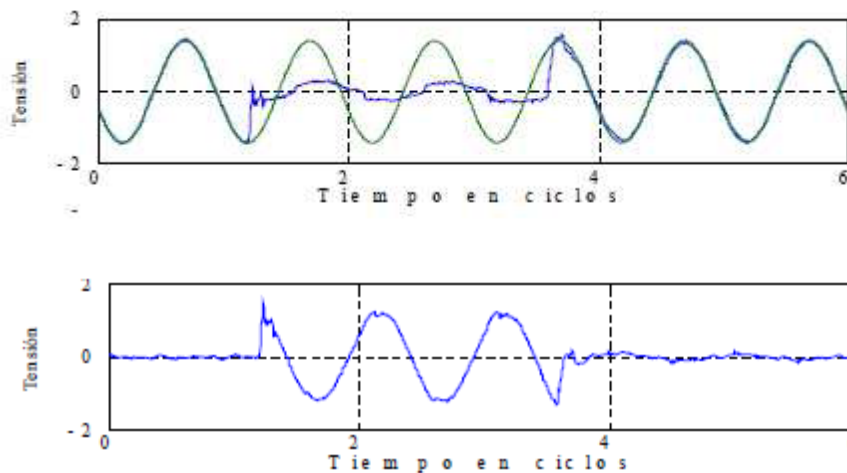


Figura 5. Hueco de tensión [5]  
 a. Hueco de tensión b. tensión perdida



La Figura 5.a muestra un hueco de tensión junto con la tensión que habría sin la presencia de la perturbación. En la Figura 5.b se presenta la tensión pérdida, que a su vez solo toma valores significativos durante el hueco de tensión. Mientras más severa sea la caída de tensión, mayor es la tensión pérdida [5].

#### 1.7.1.7 Tensión pérdida compleja:

Es un número complejo que representa la tensión pérdida durante un hueco en una de las fases y corresponde a la resta en el plano complejo entre la tensión fundamental antes del hueco y la tensión fundamental durante el hueco.

Salto o desplazamiento del ángulo de fase: Es La diferencia entre los ángulos de fase de las tensiones fundamentales existentes antes y durante el hueco de tensión, Figura 6 [5].

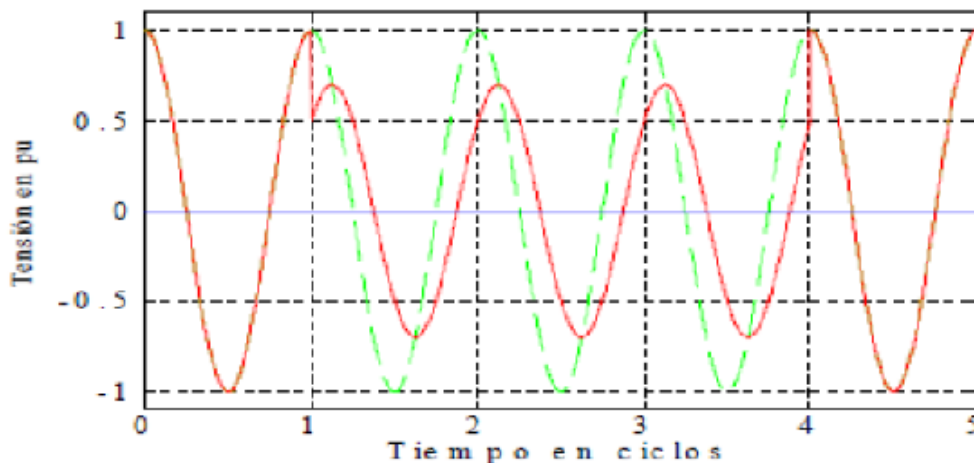


Figura 6. Salto de ángulo de fase.  $\theta = \pi/4$  [5].

## 1.8 CAUSAS Y EFECTOS DE LOS HUECOS DE TENSIÓN

Los huecos de tensión son generados por fallas en los sistemas de potencia, energización de transformadores, conexión de transformadores, cambios de carga, arranque de grandes motores de inducción y descargas atmosféricas, sin embargo se enfocará en trabajar con fallas sintéticas.

La principal causa de los huecos de tensión son las fallas de red que se presentan en los sistemas eléctricos (causas externas). Se ve la necesidad de abarcar gran parte del trabajo a este estudio. Sin embargo los equipos de monitorización instalados también registran huecos de tensión asociados con otras causas



internas, ya mencionadas y que no son de carácter importante para este trabajo de grado.

### 1.8.1 Fallas en sistemas de energía eléctrica

Una falla en un circuito es cualquier evento que interfiere con el flujo normal de corriente y pueden tener su origen en factores como el viento, talas de árboles, descargas atmosféricas [7]. Los tipos de fallas son:

#### 1.8.1.1 Falla trifásica

Como se puede observar en la Figura 7, involucra las tres fases del sistema. Es conocida como falla simétrica debido a que no origina desbalances en las tensiones del sistema; corresponden al 5% de las fallas que ocurren en los sistemas eléctricos.

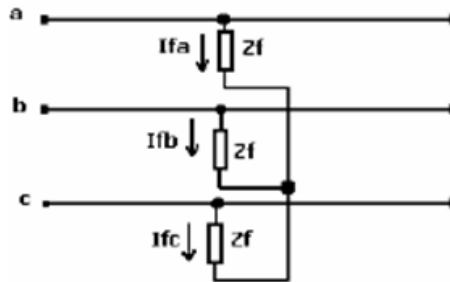


Figura 7. Falla trifásica [5].

#### 1.8.1.2 Falla monofásica

Es la más común en sistemas eléctricos y puede originarse por descargas atmosféricas o por contacto de conductores con las estructuras metálicas (ver Figura 8).

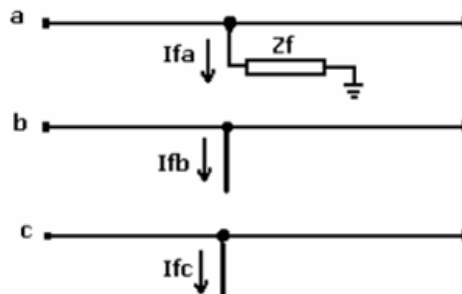


Figura 8. Falla monofásica [5].



### 1.8.1.3 Falla bifásica

Es originada cuando se ponen en contacto directo o por un medio externo dos conductores de un circuito trifásico (ver Figura 9).

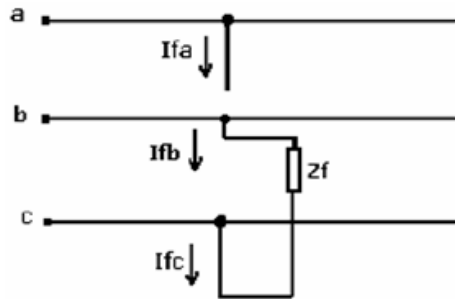


Figura 9. Falla bifásica [5].

### 1.8.1.4 Falla bifásica a tierra

Es originada cuando se ponen en contacto directo o por un medio externo dos circuitos, pero en este caso hacen contacto con las estructuras aterrizadas o con tierra por medio de una impedancia de falla (ver Figura 10).

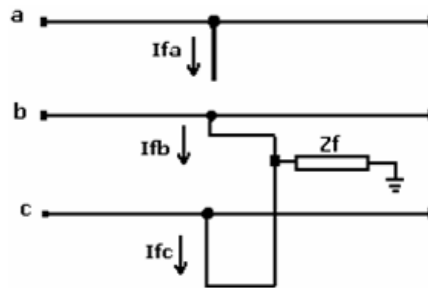


Figura 10. Falla bifásica a tierra [5].

## 1.8.2 Arranque de motores de inducción

En el momento del arranque, la velocidad del rotor es igual a cero y el deslizamiento por unidad es igual a uno [8]. La corriente de arranque es

$$I = \frac{V}{R + j * X} \quad (1.1)$$

Dado que la resistencia del rotor es muy pequeña en el momento del arranque en comparación con su valor al alcanzar el deslizamiento especificado, la corriente en



el arranque puede llegar a ser de 400 a 900% de la corriente a plena carga [8]. Una corriente en el arranque tan alta provoca una caída de tensión en la línea.

Mientras el motor alcanza su velocidad nominal la corriente se mantiene en valores por encima del valor nominal y esto puede durar desde unos pocos segundos hasta un minuto [6].

### **1.8.3 Energización de transformadores**

La presencia de una alta corriente de magnetización que se produce en el momento de la energización de un transformador es debida a un sobre flujo en el núcleo del transformador. Debido a los efectos de la saturación en el núcleo, las corrientes se caracterizan por tener una gran cantidad de armónicos dentro de los cuales cobra importancia el de segundo orden, que se ve reflejado en la forma de onda de tensión y de corriente [8].

En estado estable de operación la corriente de magnetización de un transformador es de aproximadamente del 1 al 2% de la corriente nominal, pero alcanza magnitudes de 10 a 20 veces mayor que la corriente nominal cuando este es energizado. Dependiendo de la capacidad del transformador, este efecto transitorio puede persistir por varios cientos de milisegundos o varios segundos antes de alcanzar la condición de estado estable.

## **2. ANÁLISIS DE LAS METODOLOGÍAS EXISTENTES EN LA LITERATURA**

### **2.1 LOCALIZACIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN BASADOS EN LA SECUENCIA POSITIVA DE LA CORRIENTE. [1]**

#### **2.1.1 Generalidades**

El método propuesto por Barrera [1], se basa en la relación que existe entre la corriente de secuencia positiva antes y durante la falla. Se utiliza la secuencia positiva por estar presente en todos los tipos de fallas registradas en la red.

A continuación se presentan algunos ejemplos de la corriente de secuencia positiva durante una falla.

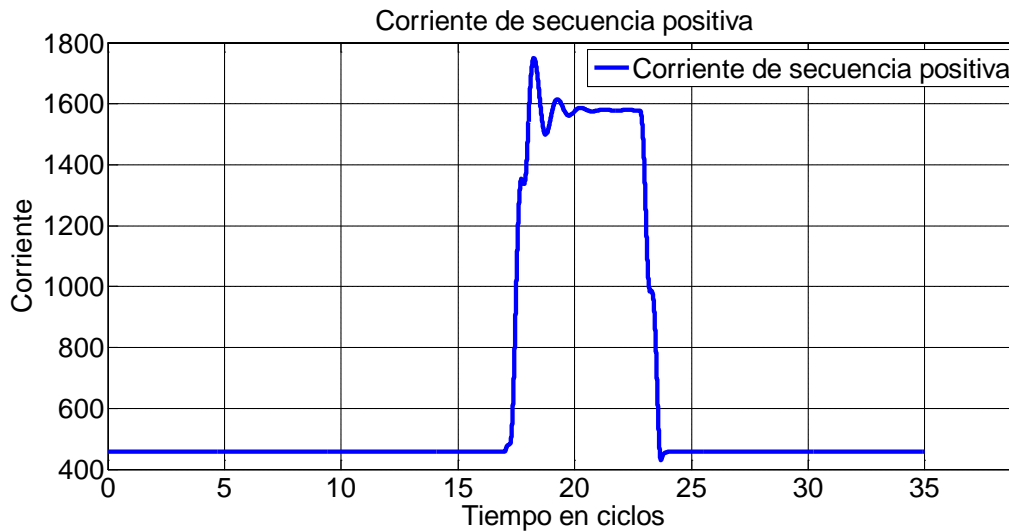


Figura 11. Corriente de secuencia positiva.

En la Figura 11 se observa la corriente de secuencia positiva de una falla monofásica durante el hueco de tensión, es importante recalcar que hay un incremento considerablemente del valor eficaz de la corriente y llega a su condición nominal cuando termina el evento.

Es posible establecer el ciclo donde empieza y finaliza el hueco de tensión, siendo el valor de inicio de la perturbación alrededor de 17.99, y el tiempo de finalización se estima en 23,779 ciclos. A partir de estos valores se pueden estimar los valores pre-falla de la corriente en estado estable ( $I_{ss}$ ) y la corriente de secuencia positiva que percibe el sistema durante el hueco de tensión.

### 2.1.2 Descriptores

Para hallar la corriente de secuencia positiva se toma como entradas las corrientes de fases  $I_a$ ,  $I_b$  y  $I_c$ , y se evalúan en las siguientes ecuaciones:

$$t = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad a = 1 < 120^\circ \quad (2.1)$$

$$t^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (2.2)$$



$$\begin{bmatrix} I_a^{(0)} \\ I_a^{(+)} \\ I_a^{(-)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = t^{-1} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Donde la corriente de secuencia positiva  $I_a^{(+)}$  se describe en la Ecuación 2.4 de la siguiente forma:

$$I_a^{(+)} = \frac{1}{3} (I_a + aI_b + a^2I_c) \quad (2.4)$$

Este método se basa en la relación que existe entre la corriente de secuencia positiva antes y durante la falla. Se utiliza la secuencia positiva porque se encuentra disponible para todos los tipos de fallas registradas en la red.

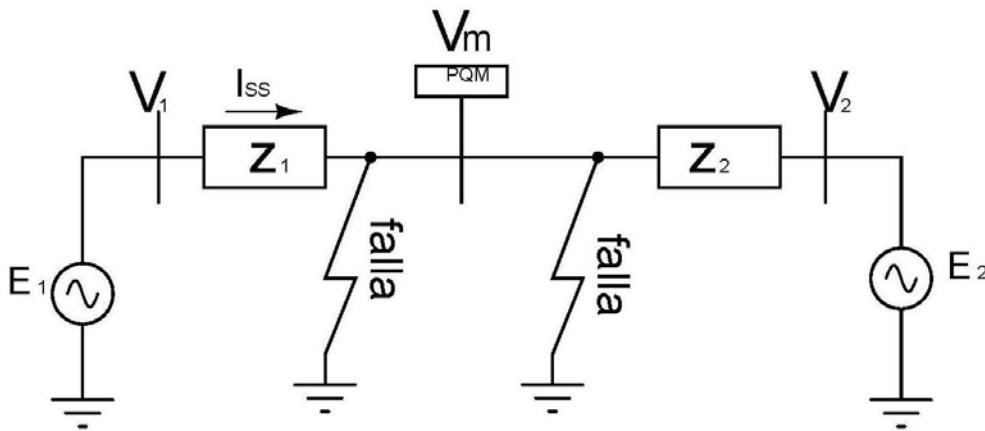


Figura 12. Diagrama de un sistema de distribución.

En la Figura 12 se describe un sistema de potencia en el cual se muestra la topología de medición. La corriente de estado estable ( $I_{ss}$ ), que muestra el sistema se calcula mediante la Ecuación 2.5.

$$I_{ss} = \frac{V_1 - V_2}{Z_{12}} \quad (2.5)$$

Donde  $V_1$  y  $V_2$  son las tensiones medidas en el sistema en las barras 1 y 2 respectivamente,  $Z_1$  y  $Z_2$  son las impedancias vistas entre las barras 1 y 2.  $V_m$  es la tensión que mide el monitor PQM.

$$I_{abajo} = I_{ss} + I_{falla} \quad (2.6)$$

$$I_{abajo} = \frac{V_1 - V_2}{Z_{12}} + \frac{V_m}{Z_{falla}} \quad (2.7)$$



$$I_{arriba} = I_{ss} - I_{falla} \quad (2.8) \quad I_{arriba} = \frac{V_1 - V_2}{Z_{12}} - \frac{V_m}{Z_{falla}} \quad (2.9)$$

Un análisis detallado muestra que la suma de las corrientes de estado estable ( $I_{ss}$ ) con la corriente de falla ( $I_{falla}$ ) arroja como resultado la corriente aguas abajo como está reflejado en la Ecuación 2.6.

En la Ecuación 2.8 se toma la diferencia de corriente de estado estable ( $I_{ss}$ ) menos la corriente de falla ( $I_{falla}$ ) para obtener la corriente aguas arriba. Analizando estas ecuaciones se observa que la corriente de aguas abajo es mayor que la corriente aguas arriba tomando como referencia el punto de medida PQM, con base a esta afirmación se llega a la conclusión que la magnitud de la corriente aguas abajo debe ser mayor que la magnitud de la corriente de estado estable y esta a su vez mayor que la magnitud de la corriente aguas arriba, como lo muestra la Ecuación 2.10.

$$|I_{abajo}| > |I_{ss}| > |I_{arriba}| \quad (2.10)$$

En la Ecuación 2.11 se hace la relación entre las corrientes de aguas abajo y la corriente de estado estable ( $I_{ss}$ ) y esta relación debe ser mayor que uno, cumpliendo con la afirmación de la ecuación 2.10.

$$\frac{|I_{abajo}|}{|I_{ss}|} > 1 \quad (2.11)$$

En la Ecuación 2.12 se hace la relación entre las corrientes de aguas arriba y la corriente de estado estable ( $I_{ss}$ ) y esta relación debe ser menor que uno, cumpliendo con la afirmación de la ecuación 2.10.

$$\frac{|I_{arriba}|}{|I_{ss}|} < 1 \quad (2.12)$$

Al final del análisis de corrientes se puede afirmar que:

- La falla se localiza agua abajo si cumple con la relación de corrientes propuesta e la Ecuación 2.13.

$$I_{razon} = \frac{|I_{abajo}|}{|I_{ss}|} > 1 \quad I_{razon} > 1 \quad (2.13)$$

- De lo contrario se dice que la falla se localiza aguas arriba si cumple con la relación de la Ecuación 2.14.



$$I_{razon} = \frac{|I_{arriba}|}{|I_{ss}|} < 1 \quad I_{razon} < 1 \quad (2.14)$$

De acuerdo a estas ecuaciones se propone un método para calcular la localización de los huecos de tensión con bases en la magnitud y los ángulos a partir de las tensiones de fase del sistema.

### 2.1.3 Algoritmo propuesto

Como resultado de esta metodología se tiene el siguiente diagrama de flujo.

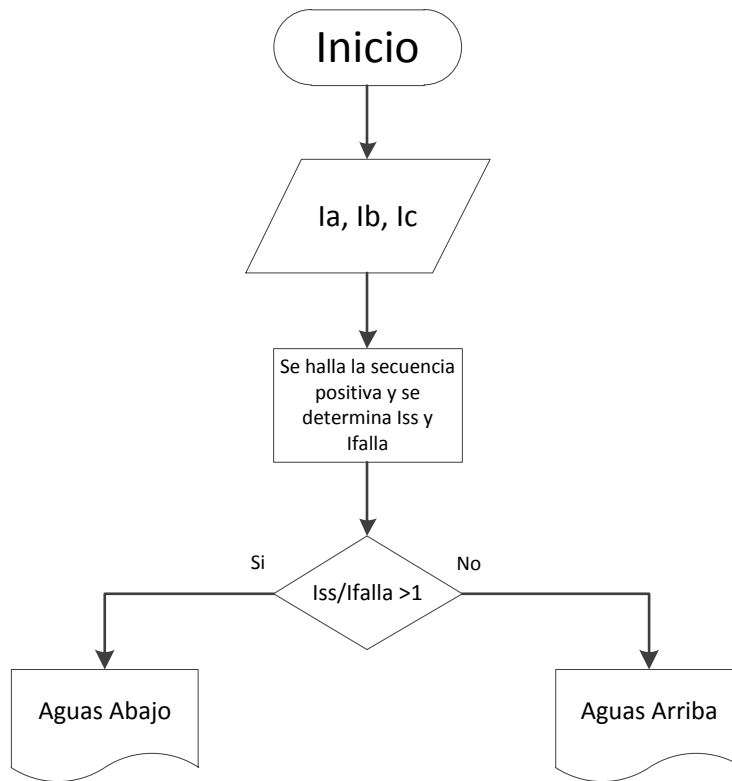


Figura 13. Algoritmo para la localización relativa a partir de corriente de secuencia positiva.

El algoritmo de la Figura 13 muestra el proceso realizado para obtener el comportamiento de la metodología planteada. Se utiliza la relación existente entre la corriente de secuencia positiva antes y durante la falla. Si esa relación es mayor o igual que la unidad se dice que la falla es originada aguas abajo del equipo de medida, si por el contrario esa relación es menor que la unidad se plantea que la falla se origina aguas debajo del equipo de medida.



## 2.2 LOCALIZACIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN APARTIR DE MEDICIONES DE TENSIÓN Y CORRIENTE.

### 2.2.1 Generalidades

Algunos estudios como [2] y [4] utilizan el concepto de energía de la perturbación y tratan con la variación de tensión y conmutación de condensadores, pero no han considerado el tipo de origen de la perturbación en la identificación de dirección del evento. Sin embargo, debido a que la dirección del evento puede ser identificada por diferentes formas según el tipo de fuente de la perturbación.

En [2] se propone un método para determinar la localización relativa del hueco de tensión en función de su causa. Para el hueco originado por una falla en la red, se utiliza la relación entre la magnitud de la corriente antes y durante la falla para determinar la localización relativa del hueco. Si una de las causas del hueco es la puesta en marcha de un motor de inducción, el aumento de la potencia activa en el monitor se utiliza para detectar la localización del evento. Por último, en caso que el hueco sea originado por la saturación del transformador, la causa es identificada por el aumento de la 2ª armónica sobre la frecuencia fundamental. La relación de la frecuencia fundamental con un umbral de adaptación es utilizada para determinar la localización relativa. De esta forma se presenta un algoritmo general que no determina sólo la localización relativa, sino también la causa de hueco. Por último, se genera un algoritmo para identificar la localización relativa y el tipo de origen de eventos [2].

Una vez estimado las causas que originan los huecos de tensión se pueden estimar la localización de acuerdo de algoritmos que me relaciona la corriente de falla y la potencia antes y después de la ocurrencia del hueco.

Se da el origen a hueco de tensión por:

#### 2.2.1.1 Fallas en las líneas, implementando la localización de huecos de tensión a partir de mediciones de tensión y corriente.

Cuando la línea entra en cortocircuito la impedancia de la falla es baja, por lo tanto una gran corriente fluye a través de la localización de la falla, usando esta característica se pues establecer la dirección de la falla.

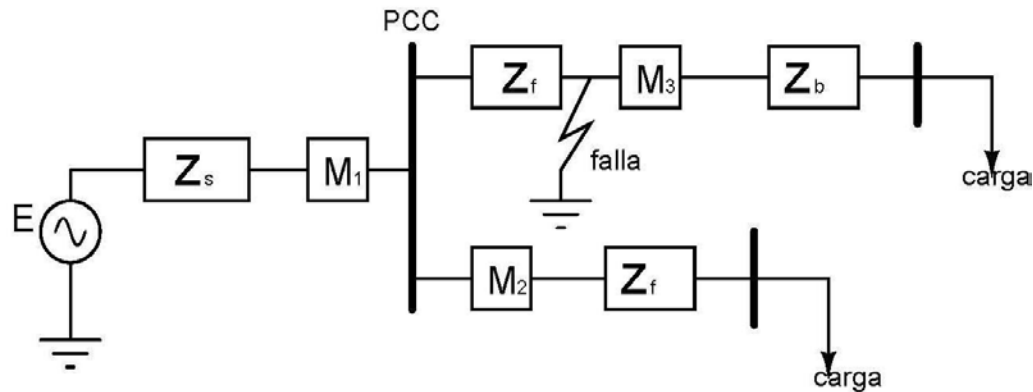


Figura 14. Falla trifásica a línea tierra [2]

En la Figura 14 Se hace una falla en el sistema y con los medidores  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , se hacen mediciones de tensión y corriente. El medidor  $M_1$  detecta la localización agua abajo mientras los medidores  $M_2$  y  $M_3$  detecta la localización agua arriba. Después de hacer pruebas se visualiza que la corriente en el medidor  $M_1$  es alta porque gran parte de corriente fluye por  $M_1$ , Por otro lado las corrientes que fluyen por  $M_2$  y  $M_3$  disminuyen un poco porque alguna porción de la energía fluye en la dirección opuesta durante la falla e influye en la localización de la falla.

La diferencia de las magnitudes de la corriente antes y durante la falla es un factor crítico para la localización relativa del hueco, con base en estas relaciones se puede decir que:

$$\frac{I_{sag}}{I_{ss}} \geq Thr_{LF} \quad \text{agua abajo} \quad (2.15)$$

$$\frac{I_{sag}}{I_{ss}} < Thr_{LF} \quad \text{agua arriba} \quad (2.16)$$

Donde:

$I_{ss}$ : Es la componente fundamental de la corriente antes de que ocurra la falla

$I_{sag}$ : Componente fundamental de la corriente durante la falla

$Thr_{LF}$ : Umbral de decisión

Si la relación entre la corriente de secuencia positiva antes y durante la falla supera el umbral la localización será aguas abajo, de lo contrario, el hueco se originó aguas arriba.



### 2.2.1.2 Arranque del motor de inducción.

Cuando un motor de inducción arranca, éste absorbe corrientes de 5 a 10 veces la corriente nominal, las cuales se mantienen hasta que alcanza el estado estable. La presencia de estas grandes corrientes durante el arranque del motor de inducción, hace que el sistema lo vea como una gran carga que absorbe energía de forma semejante a una falla de red. Sin embargo, esta semejanza con las fallas de red solo dura unos cuantos instantes cuando arranca el motor, pues después la tensión se recupera gradualmente debido a que la gran corriente desaparece lentamente [3].

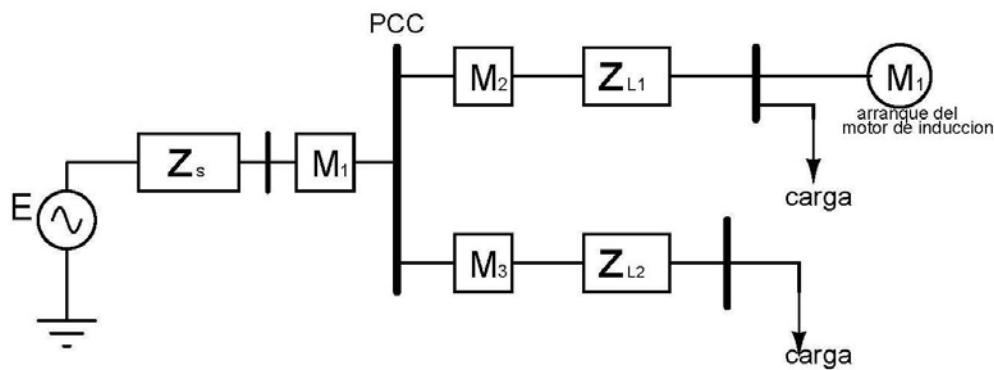


Figura 15. Ejemplo de un sistema para definir la dirección del hueco durante el arranque de un motor de inducción.

En la Figura 15 se ilustra un sistema de potencia en el cual está presente el arranque de un motor de inducción. Si el motor empieza a operar el hueco de tensión se origina en PCC y en otras barras, en el ejemplo se utiliza el medidor M1 para detectar aguas abajo mientras M2 y M3 son utilizados para detectar huecos de tensión aguas arriba.

En cada monitor se registra la potencia activa antes y durante la ocurrencia del hueco. La potencia activa de los medidores M1 y M2 alcanzan un nuevo estado estable con el aumento del valor, esto sucede porque el motor de inducción trabaja como una carga, durante el arranque del motor esa carga aumenta. Por todo lo anterior si se estima la diferencia que hay entre las dos potencia activa antes y después del arranque del motor se puede usar para determinar la localización relativa del hueco de tensión cuando hay arranque de motores de inducción.

### 2.2.1.3 Saturación de transformadores.

Cuando se energiza un transformador existe una alta corriente de magnetización que se origina por el aumento del flujo en el núcleo del transformador. Debido a los



efectos de la saturación en el núcleo, las corrientes se caracterizan por tener una gran cantidad de armónicos dentro de los cuales cobra importancia el de segundo orden, que se ve reflejado en la forma de onda de tensión y de corriente.

La forma de onda es algo similar con la del arranque del motor de inducción. Tiene una fuerte caída y un aumento lento de la tensión eficaz. Sin embargo, la saturación del transformador es diferente a la del motor de inducción, debido a que las tres fases tensiones no están equilibradas y la forma de onda tiene mucho contenido de armónicos.

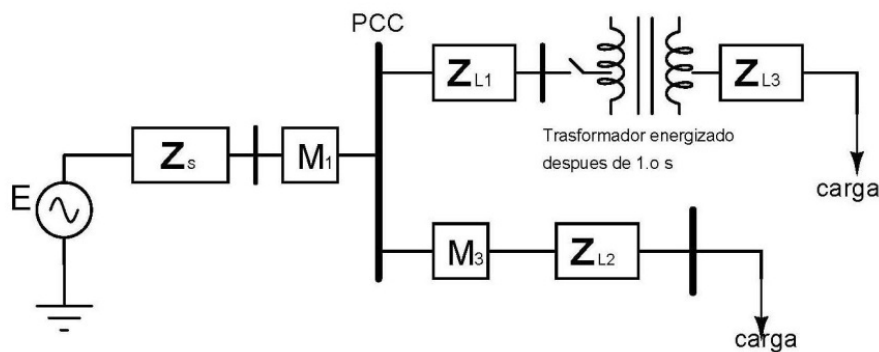


Figura 16. Sistema de potencia con transformador [2].

Para investigar las características de la saturación de los transformadores se implementa un sistema de potencia en el cual se incluye un transformado como se muestra en la Figura 16.

Los medidores que detectan los huecos aguas abajo se identifican como el incremento de la corriente de frecuencia fundamental y la existencia de armónicos.

Para la saturación del transformador, se conecta un transformador en un nodo del sistema después de un determinado tiempo que este empiece a operar. La saturación del transformador baja la tensión en la barra PCC y en otras barras temporalmente. En este sistema el monitor  $M_1$  mide la localización aguas abajo, mientras el medidor  $M_2$  detectara agua arriba.

La magnitud de corriente que mide la localización agua abajo ( $M_1$ ) no es tan grande en comparación con la corriente de hueco durante la falla en la línea, esto sucede porque la corriente aumenta rápidamente y se restaura gradualmente.



Debido a esto se debe utilizar la relación mínima para determinar el evento de la saturación de un transformador [3].

## 2.2.2 Descriptores.

### 2.2.2.1 Potencia Activa

A continuación se presentan los descriptores para esta metodología, teniendo en cuenta que en este proyecto no se hace análisis para este tipo de huecos de tensión que tienen como causa el arranque de motores de inducción:

$$\text{si } \frac{P_{post} - P_{pre}}{P_{pre}} \geq Thr_{im} \quad \text{aguas abajo} \quad (2.17)$$

En la Ecuación 2.17 se observa una relación de potencia que debe ser mayor que el umbral de decisión y de esta manera poder determinar que el hueco este localizado aguas abajo.

$$\text{si } \frac{P_{post} - P_{pre}}{P_{pre}} < Thr_{im} \quad \text{aguas arriba} \quad (2.18)$$

En la Ecuación 2.18 se observa una relación de potencia que debe ser menor que el umbral de decisión y de esta manera poder determina que el hueco este localizado aguas arriba.

Donde:

$P_{post}$ : Es la potencia en estado estable después del arranque del motor de inducción

$P_{pre}$ : Es la potencia en estado estable antes del arranque del motor de inducción

$Thr_{im}$ : Umbral de decisión

Si en la relación de potencia antes y durante el arranque del motor de inducción es mayor que el umbral se dice que el hueco está localizado aguas abajo, de lo contrario si esa relación es menor que el umbral se dice que el hueco se localiza aguas abajo.

### 2.2.2.2 Valor eficaz de la corriente

Es el valor eficaz de una onda llamado también como valor RMS por su sigla en inglés Root Mean Square. El valor eficaz de una onda de tensión alterna es aquel



valor que aplicado sobre una resistencia tiene la misma eficacia térmica que una tensión continua. Es decir, produce la misma disipación de calor que una tensión continua de dicho valor. En una onda senoidal, este valor es  $\frac{V_{\max}}{\sqrt{2}}$ , en una onda triangular, el valor eficaz es  $\frac{V_{\max}}{\sqrt{2}}$  y en una onda cuadrada es igual al  $V_{\max}$

Para desarrollar el algoritmo las señales de tensión eficaz se calculan haciendo uso de la Transformada Corta de Fourier (SFT) con una ventana deslizante de un ciclo y 1024 muestras de longitud para el sistema [12] que se tomó como entrenamiento.

Valor eficaz

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N i_i^2} \quad (2.19)$$

Valor eficaz obtenido para cada muestra

$$I_{rms}(k) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=k-N+1}^k i_i^2} \quad (2.20)$$

Donde

N= número de muestras  
 $i$ = Corriente de fase

Se desarrolla un algoritmo que calcula los valores eficaces de las corrientes de fases del sistema, eligiendo la corriente  $I_{rms}$  menor valor de las tres fases y la de mayor duración para desarrollar la metodología.

### 2.2.3 Algoritmo propuesto.

Se plantea un algoritmo para determinar la localización relativa de huecos de tensión a partir de las mediciones de tensión y corriente y para ello el sistema mide solo dos variables:

*Potencia Activa:* Se calculan el valor de potencia antes y después de la ocurrencia del hueco, que se denota por la siguiente notación:  $P_{pos}$  y  $P_{pre}$



*Corriente eficaz:* Se mide la corriente antes y durante la ocurrencia del hueco, se conoce como corriente de estado estable ( $I_{ss}$ ) como la corriente antes que ocurra el hueco, mientras que la corriente durante el evento es  $I_{hueco}$

A continuación se muestra el algoritmo formulado anteriormente.

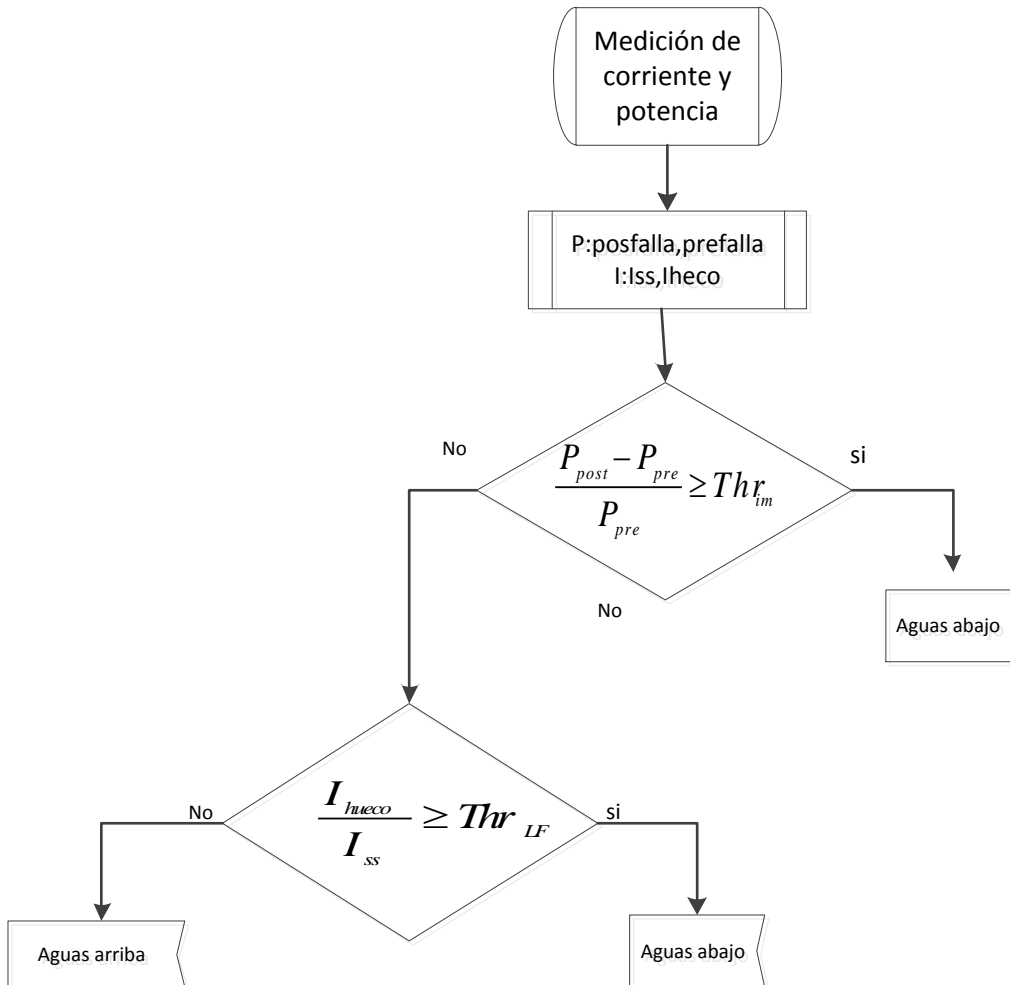


Figura 17. Algoritmo relacionando corriente y potencia.

En la figura 17 se muestra el algoritmo propuesto para la localización relativa de huecos de tensión a partir de las mediciones de tensión y corriente, Los valores de  $Thr_{im}$  y  $Thr_{LF}$  son los umbrales de decisión y depende del sistema que se va a analizar. En resumen para el método basado en las mediciones de tensión y corriente estos son las reglas de decisión:



$$si \frac{P_{post} - P_{pre}}{P_{pre}} \geq Thr_{im} \text{ aguas abajo} \quad (2.21)$$

En la Ecuación 2.21, se observa una relación de potencias que debe ser mayor o igual al umbral de decisión y de esta manera localizar el hueco de tensión aguas abajo.

$$si \frac{I_{hueco}}{I_{ss}} \geq Thr_{LF} \text{ aguas abajo} \quad (2.22)$$

Así mismo en la Ecuación 2.22 se observa una relación de corrientes que debe ser mayor que el umbral de decisión y poder determinar que el hueco esté localizado aguas abajo.

Para explicar este algoritmo se tiene en cuenta que se trabaja con la potencia posfalla y prefalla, junto con la corriente de estado estable y de hueco. Para determinar si la falla está localizada aguas abajo se debe garantizar que la relación de potencia debe ser mayor o igual al umbral de decisión. De lo contrario la relación de corrientes deber ser mayor o igual al umbral de decisión para que la falla esté localizada aguas abajo, de manera contraria será localizada aguas arriba del equipo de medida. Los umbrales dependen del sistema analizado, por ello no se puede generalizar para cualquier sistema estudiado.

## 2.3 LOCALIZACIÓN RELATIVA DE HUECOS DE TENSIÓN A PARTIR DE LA MEDICIÓN DE TENSIÓN EN LOS LADOS PRIMARIO Y SECUNDARIO DE UN TRANSFORMADOR. [4]

### 2.3.1 Generalidades

Es importante obtener la localización relativa de huecos de tensión midiendo solo tensión debido a que algunas empresas del sector eléctrico colombiano poseen equipos de monitorización que solo registran tensión. Se propone un método para calcular la localización de los huecos de tensión con bases en la magnitud y los ángulos a partir de las tensiones de fases del sistema.

Para localizar los huecos de tensión se hace una aproximación, tomando como registro la medición de la tensión en cada lado del transformador, con esto se pretende comparar la relación existente entre la tensión de prefalla y de falla registradas en el lado primario y secundario de un transformador.



Por lo tanto, se propone un método para localizar el origen del hueco de tensión a partir de su relación de magnitudes utilizando dos niveles de tensión de una subestación. Este método es el único capaz de localizar una fuente generadora del hueco de tensión cuando la medición de corriente no está disponible. El método muestra una notable precisión para la localización relativa de huecos observada en las redes de transmisión.

### 2.3.2 Descriptores

A continuación se presenta un sistema de potencia que utiliza un transformador para identificar la localización relativa de los huecos de tensión.

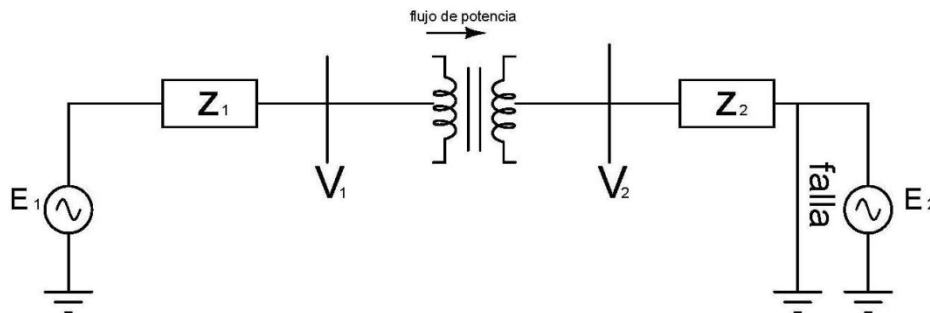


Figura 18. Circuito equivalente del sistema.

En la Figura 18 se tiene el circuito equivalente de un sistema de potencia que asocia un transformador como referencia a la hora de hacer las mediciones de las tensiones  $V_1$  y  $V_2$ .

$$V_1 = \frac{V_{1-hueco}}{V_{1-prefalla}} \quad (2.23)$$

En la Ecuación 2.23 la tensión del lado primario del transformador es el resultado de la relación de tensiones de hueco y prefalla. De igual manera en la Ecuación 2.24 la tensión del lado secundario del transformador es la relación de las tensiones de hueco y prefalla

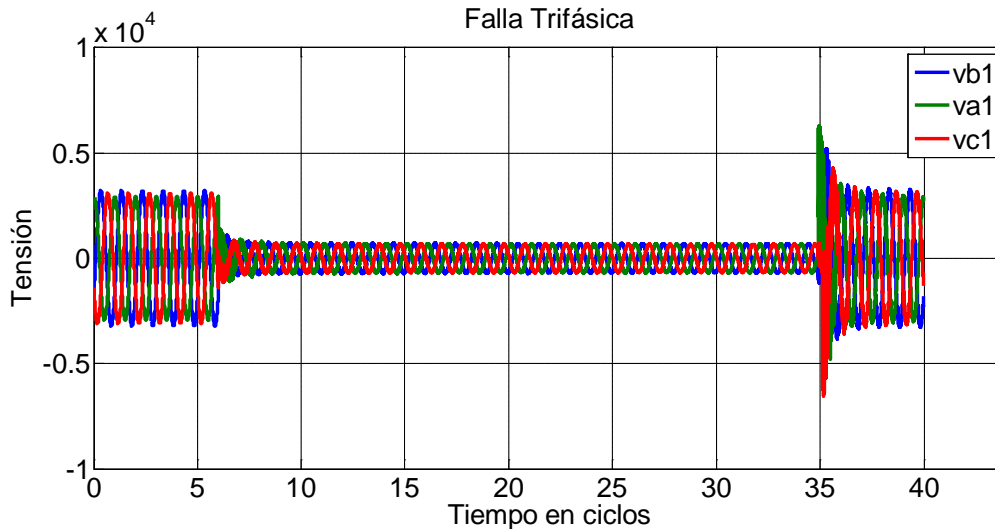
$$V_2 = \frac{V_{2-hueco}}{V_{2-prefalla}} \quad (2.24)$$

Luego de hallar las tensiones  $V_1$  y  $V_2$  se realizan las siguientes comparaciones.

Si  $V_1 > V_2$  la falla se localiza aguas abajo, o de lo contrario se dice que es aguas arriba.



Este método está diseñado para utilizarse en los puntos de intersección en los servicios de transmisión donde la influencia de la carga no sea tan evidente. Este modelo necesita que la potencia en la carga permanece constante por ello es recomendable utilizar estos puntos, donde no haya variación de potencia que pueda ocurrir en la carga por la utilización de maquinas de inducción u otra carga que necesite corriente extremadamente grande [4].



*Figura 19. Falla trifásica en el lado primario del transformador.*

Cuando se genera una falla en un sistema y se mide la tensión en los dos lados del transformador se presenta una caída de tensión tal como se aprecia en la Figura 19, con base en esta característica se puede hacer una relación entre la tensión que tenía el sistema antes de que ocurra la falla (pre-falla), y la tensión que experimenta el sistema durante la ocurrencia del evento.

Luego de hallar esta relación tanto en el lado primario y el secundario del transformador se hace la siguiente comparación [4].

Si  $V_1 > V_2$  El hueco de tensión se localiza aguas abajo.

Si  $V_1 \leq V_2$  El hueco de tensión se localiza aguas arriba.

### 2.3.3 Algoritmo propuesto

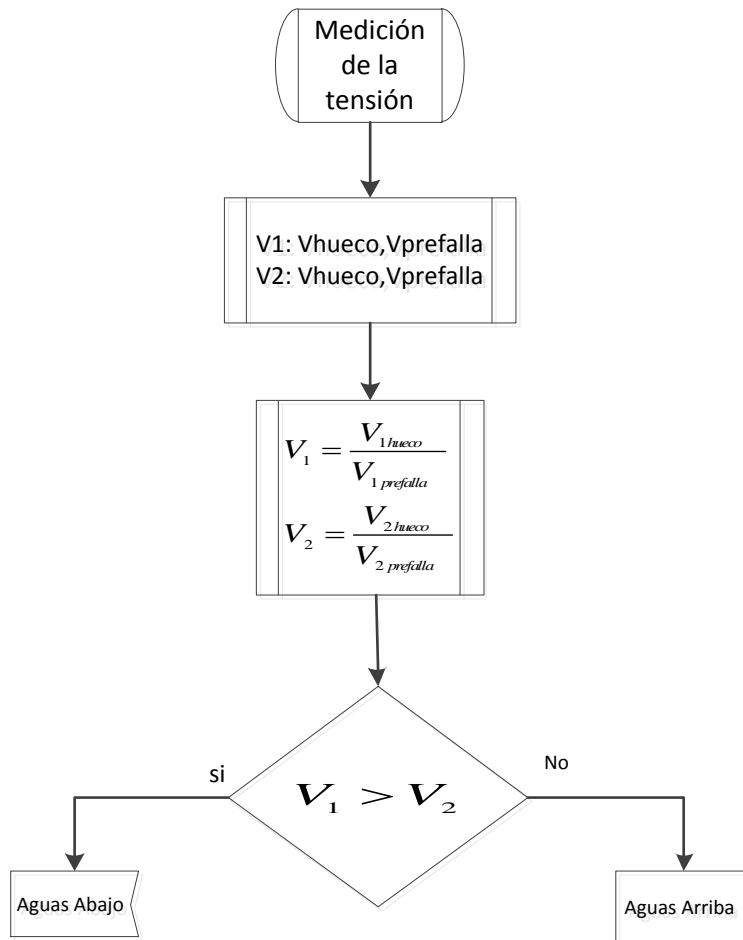


Figura 20. Algoritmo basado en registros de tensión en los lados del transformador.

Para este algoritmo de la Figura 20 se tienen en cuenta los valores de tensiones del hueco y los valores de tensión de prefalla registrados en cada lado del transformador.

La relación de los valores eficaces de tensión registrados durante la ocurrencia del hueco y el valor registrado antes del evento, se llama  $V_1$  para el lado primario y  $V_2$  para el lado secundario del transformador.

Si  $V_1 > V_2$  la falla se localiza aguas abajo, de lo contrario la falla es originada aguas arriba del equipo de medida.



### 3. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LOS ALGORITMOS EXISTENTES.

Para evaluar los descriptores mencionados en el capítulo anterior se utiliza el sistema “IEEE 123 Node Test Feeder” [12]. Este esquema se implementó en ATP DRAW, y se realizan varias pruebas comprobando que el flujo de potencia era el correcto. El siguiente paso es determinar varios puntos críticos del sistema para implementar un medidor. Los nodos seleccionados son los que presentan bifurcaciones, pretendiendo asegurar una evaluación más detallada del sistema cuando se presentan fallas en la red.

Se utilizan fallas simétricas y asimétricas conformadas por corto circuitos y fallas a través de impedancia o con conductores abiertos. Los tipos de fallas utilizados en el análisis de esta temática son: Línea a tierra (L-T), línea a línea (L-L), doble línea a tierra (2L-T), trifásica (3L), trifásica a tierra (3L-T). Las Fallas sintéticas generadas en el sistema son de líneas, siendo las más comunes en sistemas de potencia.

#### 3.1 LOCALIZACIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN MEDIANTE LA CORRIENTE DE SECUENCIA POSITIVA (RPSC)

Para verificar esta metodología se desarrolla una base de datos con 500 fallas a lo largo del sistema con diferentes puntos de medición. En cada falla se registran valores de tensión y de corriente.

Con la ayuda de un algoritmo implementado en Matlab, se obtiene la corriente de secuencia positiva para cada falla, como se muestra a continuación.

##### 3.1.1 Corriente de secuencia positiva para una falla localizada agua arriba.

Cuando se habla de secuencia positiva se tiene en cuenta que todas las fallas originadas en nuestro sistema eléctrico tienen como referencia esta secuencia, y se puede cuantificar las diferencias que existen entre aguas arriba o aguas abajo. A continuación se observa la caracterización de cada una de las posibles fallas trabajadas en el sistema eléctrico.

###### 3.1.1.1 secuencia positiva de una falla monofásica.

Es la falla más común en los sistemas eléctricos ya que puede originarse por la descarga atmosférica en la red o el contacto de la fase con alguna estructura.

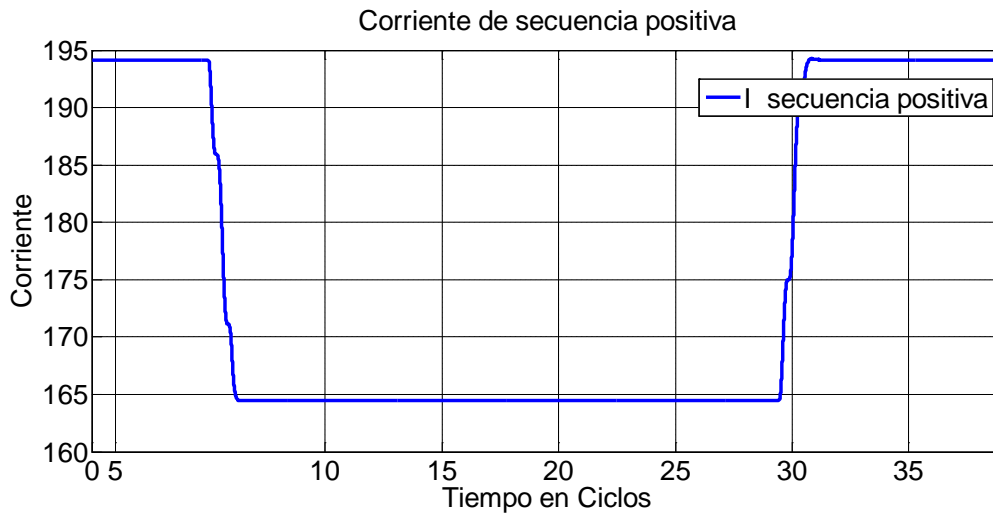


Figura 21. Corriente de secuencia positiva de una falla monofásica

En la Figura 21, se tiene la corriente de secuencia positiva de una falla monofásica originada en el nodo 29 y vista por el medidor en el nodo 67, observando que la falla es localizada aguas arriba del medidor. La corriente de secuencia positiva en la fase donde se origina la falla sufre una disminución de magnitud, siendo este el comportamiento cuando el hueco se origina aguas arriba.

### 3.1.1.2 secuencia positiva de una falla bifásica a tierra

El comportamiento de la corriente de secuencia positiva que experimenta una falla bifásica se muestra a continuación.

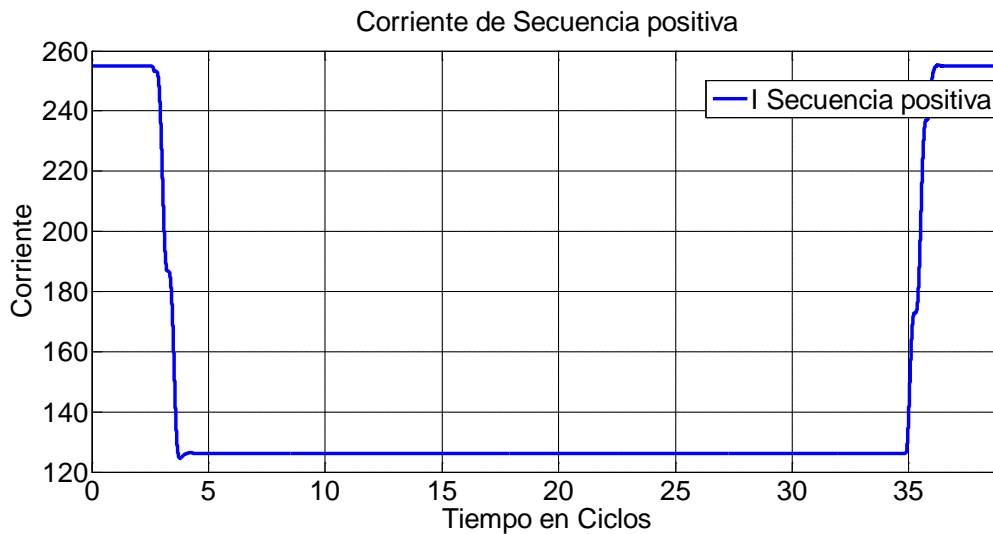


Figura 22. Corriente de secuencia positiva de una falla bifásica a tierra.



En la Figura 22, se tiene la corriente de secuencia positiva de una falla bifásica originada en el nodo 8 y vista por el medidor en el nodo 13, observando que la falla es localizada aguas arriba del medidor. Se puede visualizar el mismo comportamiento teniendo en cuenta que las dos se localizan aguas arriba.

### 3.1.1.3 secuencia positiva de una falla trifásica

Corriente de secuencia positiva en una falla trifásica. En la Figura 23, se tiene la corriente de secuencia positiva de una falla trifásica originada en el nodo 21 y vista por el medidor en el nodo 67, observando que la falla es localizada aguas arriba del medidor.

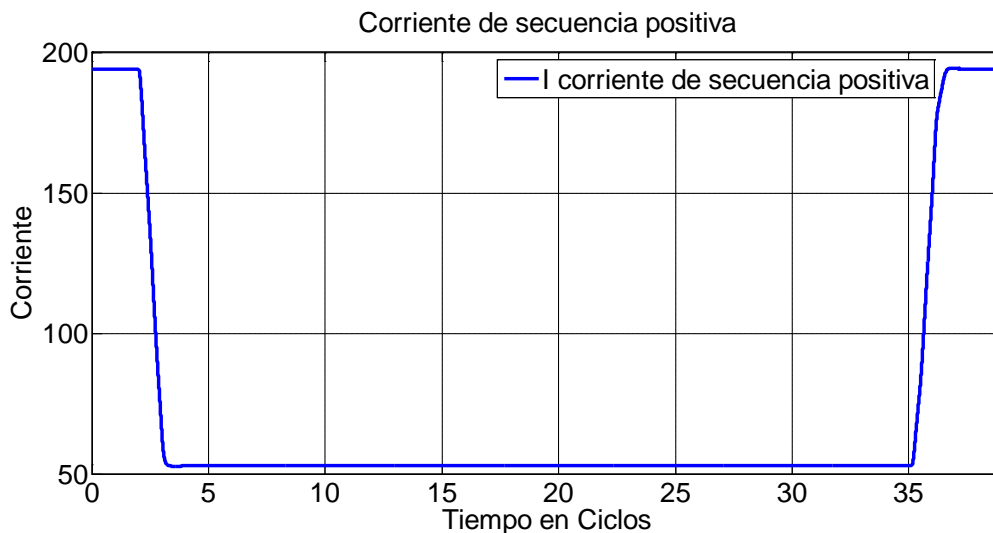


Figura 23. Corriente de secuencia positiva de una falla trifásica.

Al visualizar las Figuras 21,22 y 23 de secuencia positiva para cada tipo de falla se tiene un mismo comportamiento cuando son originadas aguas arriba. Claramente se observa que la corriente durante el evento presenta una disminución de amplitud en comparación con el valor prefalla.

A partir de todos los casos analizados se propone que la corriente de secuencia positiva durante la falla siempre será menor comparándola con la corriente de estado estable, solo cuando el hueco se origina aguas arriba del punto de medición, como se muestra en la Ecuación 3.1.

$$|I_{hueco}| < |I_{ss}| \quad (3.1)$$



### 3.1.2 Corriente de secuencia positiva para una falla localizada agua abajo.

El comportamiento de la corriente de secuencia positiva que ve cuatro tipos de fallas aguas abajo.

#### 3.1.2.1 Secuencia positiva de una falla monofásica.

La falla monofásica vista por el sistema eléctrico después de que ocurra el evento puede darse por la descarga atmosférica en la red o el contacto de la fase con alguna estructura.

En la Figura 24, se tiene la corriente de secuencia positiva de una falla monofásica originada en el nodo 80 y vista por el medidor en el nodo 67, observando que la falla es localizada aguas abajo del medidor.

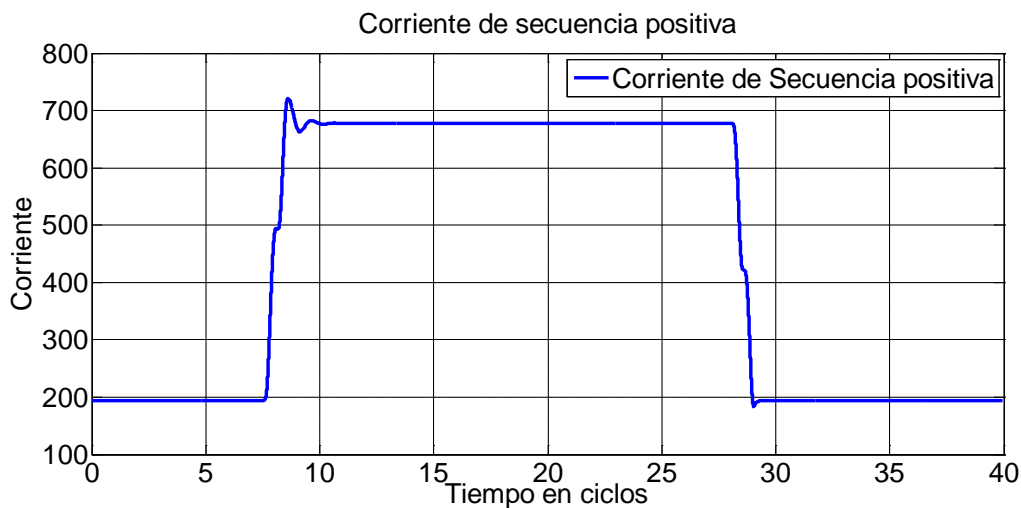


Figura 24. Corriente de secuencia positiva de una falla monofásica.

El comportamiento de la corriente de secuencia positiva vista en un medidor ubicado aguas abajo de la falla, presenta un aumento de magnitud durante el evento siendo esto un índice a tener en cuenta a la hora de caracterizar los resultados obtenidos.

#### 3.1.2.2 Secuencia positiva de una falla bifásica.

Secuencia positiva de corriente en una fallas bifásica con aumento notable en la magnitud de la corriente en relación con la corriente de prefalla.



En la Figura 25 se tiene la corriente de secuencia positiva de una falla bifásica originada en el nodo 95 y vista por el medidor en el nodo 67, siendo una falla localizada aguas abajo del medidor.

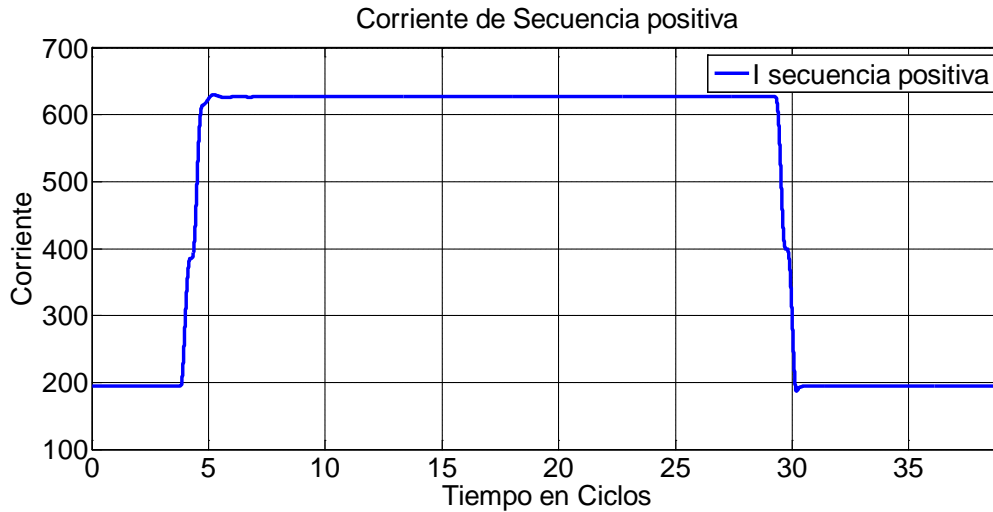


Figura 25. Corriente de secuencia positiva de una falla bifásica.

Durante el evento la magnitud de la corriente de secuencia positiva aumenta teniendo en cuenta que el medidor se ubica antes del evento, esto permite ver una gran diferencia en relación con la corriente de secuencia positiva cuando el medidor está después del evento ya que cuando se origina el evento aguas arriba, el medidor ve el aumento de corriente en una fase y el flujo de corriente de las fases restantes, la mayoría se disipa por la falla.

### 3.1.2.3 Secuencia positiva de una falla trifásica

En la Figura 26, se tiene la corriente de secuencia positiva de una falla trifásica originada en el nodo 48 y vista por el medidor ubicado en la subestación. Se observa que la falla es localizada aguas abajo del medidor.

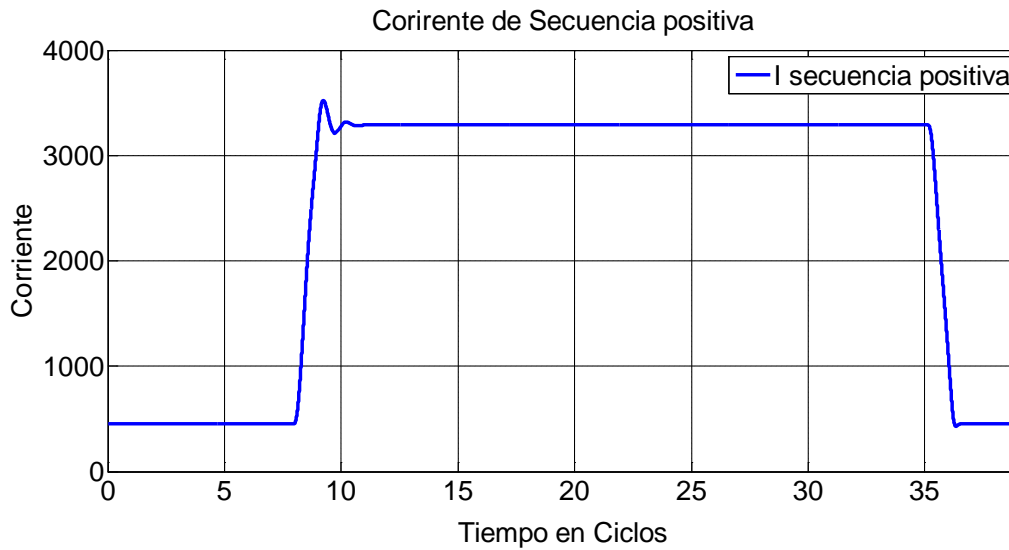


Figura 26. Corriente secuencia positiva de una falla trifásica

Se hace el mismo procedimiento anterior para la localización relativa agua abajo, se analizó el comportamiento de la corriente de secuencia positiva para todos los tipos de fallas, en estos casos se observa que la magnitud de corriente positiva durante la ocurrencia de la falla aumentó considerablemente caso contrario a lo sucedido con la localización relativa agua arriba. Para este caso se puede apreciar claramente la Ecuación 3.2.

$$|I_{hueco}| > |I_{ss}| \quad (3.2)$$

Con base a las pruebas hechas anteriormente se puede encontrar un patrón para la localización relativa de los huecos de tensión, de acuerdo a la comparación que existe entre la corriente del hueco ( $I_{hueco}$ ) y la de estado estable ( $I_{ss}$ ) para las dos ubicaciones posible.

$$|I_{abajo}| > |I_{ss}| > |I_{arriba}| \quad (3.3)$$

$$\frac{|I_{hueco}|}{|I_{ss}|} > 1 \quad I_{razon} > 1 \quad \text{aguas abajo} \quad (3.4)$$

$$\frac{|I_{hueco}|}{|I_{ss}|} < 1 \quad I_{razon} < 1 \quad \text{aguas arriba} \quad (3.5)$$



Con la relación anterior se comprueba la validez del artículo [1], ahora a partir ecuación 3.4 demostrada se analizan las 500 fallas para estimar la eficiencia del método.

*Tabla I. Análisis de resultado para la localización relativa de huecos de tensión basado en la corriente de secuencia.*

Base de datos de Huecos sintéticos					
Tipo	Aguas arriba	Aguas Abajo	Aciertos	Desaciertos	Eficiencia
Monofásica	60	199	259	0	100 %
Bifásica	69	95	164	0	100 %
Trifásica	50	27	77	0	100 %
Total	179	321	500	0	100 %

En la Tabla I se muestran los resultados para todos tipos de fallas, relaciona la ubicación real con los aciertos y desaciertos que produjo al evaluarlo el algoritmo. Al hallar los resultados de esta metodología se comprueba que este algoritmo funciona con una eficiencia del 100% probado con la base de los huecos sintéticos generados para este proyecto. Este algoritmo proporciona seguridad y confiabilidad para la localización de los huecos de tensión en los sistemas de distribución de la energía eléctrica.

### **3.1.3 Diagrama de flujo del método.**

Como resultado de esta metodología se tiene el siguiente diagrama de flujo.

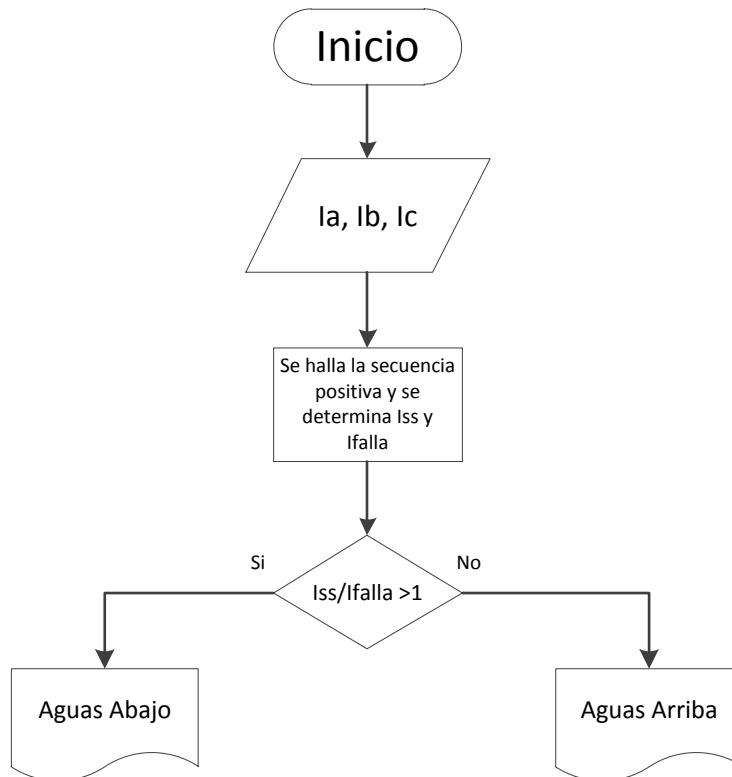


Figura 27. Algoritmo de corriente de secuencia positiva.

Algoritmo en Matlab para la localización de huecos de tensión con los resultados obtenidos, se inicia tomando los valores de corriente y hallando la secuencia positiva de cada uno, para luego determinar la relación entre la corriente de estado estable sobre la corriente de fallas, esta relación debe ser mayor que uno para que el hueco sea originado aguas abajo. De lo contrario el hueco de tensión estará localizado aguas arriba del medidor

### 3.2 LOCALIZACIÓN DE HUECOS DE TENSIÓN A PARTIR DE MEDICIONES DE TENSIÓN Y CORRIENTE.

Se generalizó este algoritmo para todos los tipos de fallas, sin importar la causa que originó el hueco. Al evaluar el algoritmo propuesto con la base de datos sintéticos no se logró ningún resultado, independientemente de la causa que origina el hueco de tensión no se encontró un patrón que identificara la localización relativa de estos eventos. En el anexo B2 se muestran los resultados de la simulación hecha con una base de datos de 500 fallas simuladas en todo el sistema.



A continuación se analizan unos tipos de fallas con los descriptores propuestos en esta metodología y se explica detalladamente los factores más relevantes.

### 3.2.1 Corriente eficaz durante una falla monofásica.

Se describe una falla monofásica simulada en el sistema tomando como referencia el valore eficaz de la corriente.

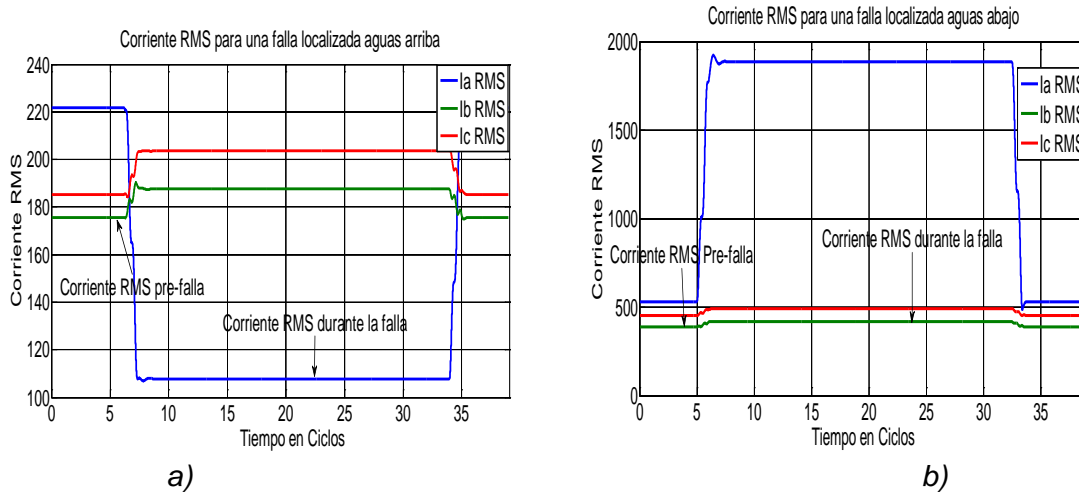


Figura 28. Corriente eficaz de una falla monofásica  
 a) Falla monofásica aguas arriba b) Falla monofásica aguas abajo

En la Figura 28, se tiene el valor eficaz de una falla monofásica originada para la Figura 28. a) en el nodo 48 y vista por el medidor en el nodo 67, y observando que la falla es localizada aguas arriba del medidor y la Figura 28. b) en el nodo 33 y vista por el medidor ubicado en la subestación, y observando que la falla es localizada aguas abajo del medidor.

Cuando se mide la corriente eficaz en una falla monofásica, sin importar la localización relativa, el comportamiento es el mismo, entonces este descriptor no puede ser tenido en cuenta para ubicar fallas monofásicas.

Después de hacer el análisis con los valores eficaz de la corriente se estudia la relación que hay entre las potencias, y se mira que tendencia cumple para la localización relativa del hueco.

Calculada la potencia activa antes y durante la ocurrencia del evento se debe probar que la Ecuación 3.6 se cumpla fallas aguas abajo.

$$si \frac{P_{post} - P_{pre}}{P_{pre}} \geq Thr_{im} \quad \text{aguas abajo} \quad (3.6)$$



Para el tipo de fallas de la Figura 28 mencionadas anteriormente se hace la relación de potencia mostrando como resultados obtenido las Ecuaciones 3.7 y 3.8.

$$\frac{|P_{post} - P_{pre}|}{|P_{pre}|} = 0,00964499 \quad \text{aguas arriba} \quad (3.7)$$

$$\frac{|P_{post} - P_{pre}|}{|P_{pre}|} = 1,58E - 05 \quad \text{aguas abajo} \quad (3.8)$$

### 3.2.2 Corriente eficaz durante una falla bifásica

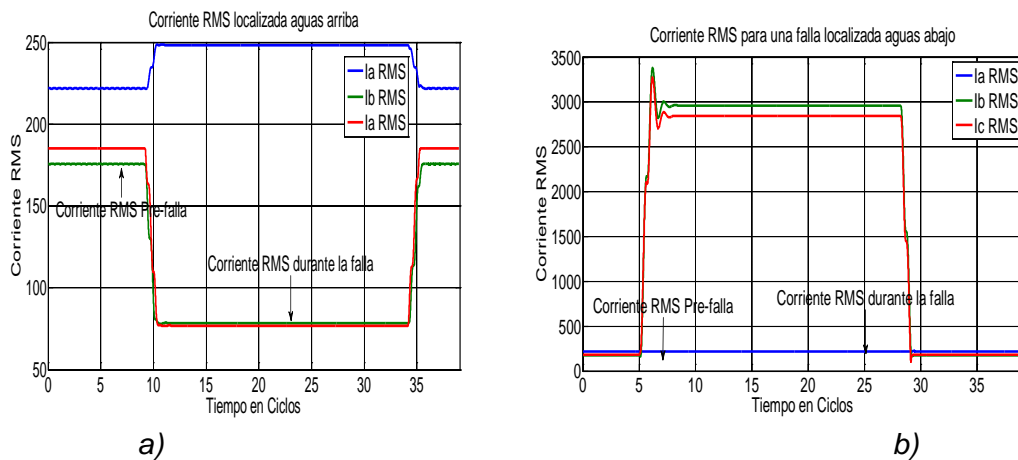


Figura 29. Corriente eficaz de una falla bifásica  
 a) Falla bifásica línea - línea aguas arriba b) Falla bifásica tierra aguas abajo

En la Figura 29, se muestra la corriente eficaz de una falla bifásica. En la Figura 29. a) se observa una falla localizada aguas arriba, originada en el nodo 47 registrada en el nodo 67, mientras que en la Figura 29. b) se muestra una falla localizada aguas abajo originada en el nodo 97 registrada en el nodo 67.

Como se observa en la Figura 29, hay una notoria diferencia entre la localización relativa aguas arriba y aguas abajo. Esta relación no se ve para todos los tipos de fallas, como se evidenció en el caso de las fallas monofásicas.

Calculada la potencia activa antes y durante la ocurrencia del evento se debe probar la veracidad de la Ecuación 3.9.

$$si \frac{P_{post} - P_{pre}}{P_{pre}} \geq Thr_{im} \quad \text{aguas abajo} \quad (3.9)$$

Para las fallas bifásicas mencionadas anteriormente se hace la relación de potencia aplicando las Ecuaciones 3.10 y 3.11.

$$\frac{|P_{post} - P_{pre}|}{|P_{pre}|} = 0,00034664 \quad \text{aguas arriba} \quad (3.10)$$

$$\frac{|P_{post} - P_{pre}|}{|P_{pre}|} = 0,00205332 \quad \text{aguas abajo} \quad (3.11)$$

Estos valores se almacenan en una base de datos, después con la ayuda de CN2, se optimiza esos valores para estimar un algoritmo que brinde eficiencia y confiabilidad.

### 3.2.3 Corriente eficaz durante una falla trifásica

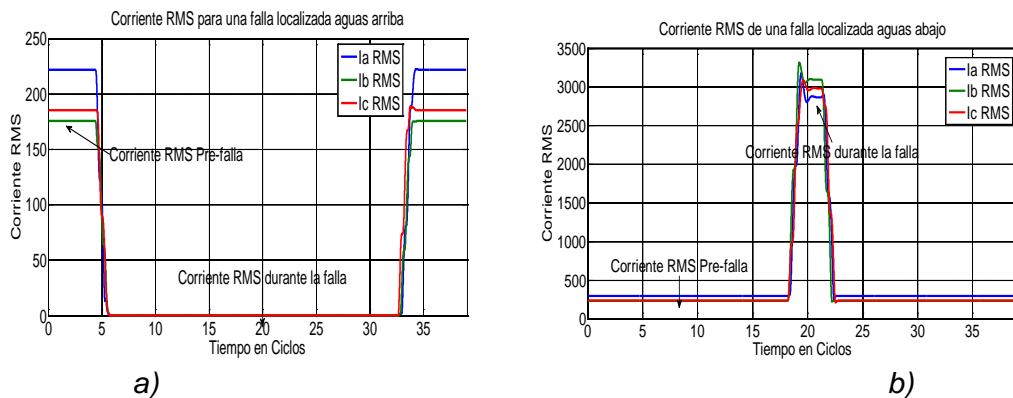


Figura 30. Corriente eficaz de una falla bifásica  
 a) Falla trifásica tierra aguas arriba b) Falla trifásica tierra aguas abajo

En la Figura 30, se tiene la corriente eficaz de una falla trifásica. La Figura 30. a) muestra una falla localizada aguas arriba generada en el nodo 7 y registrada por un medidor en el nodo 67, mientras que la falla de la Figura 30. b) es localizada aguas abajo del medidor generada en el nodo 64 y registrada por el medidor en el nodo 13.

Para el tipo de fallas de la Figura 30 mencionadas anteriormente se hace la relación de potencia mostrando como resultados obtenido las Ecuaciones 3.12 y 3.13.

$$\frac{|P_{post} - P_{pre}|}{|P_{pre}|} = 0,00499227 \quad \text{aguas arriba} \quad (3.12)$$

$$\frac{|P_{post} - P_{pre}|}{|P_{pre}|} = 0,15648616 \quad \text{aguas abajo} \quad (3.13)$$



*Tabla II. Análisis de resultados para el método de localización relativa de huecos basados en la medición de tensión y corriente.*

Nº	Tipo	Ubicación	fase de falla	Nodo de falla	Nodo de medida	$\frac{ P_{post} - P_{pre} }{ P_{pre} }$	$\frac{I_{hueco}}{I_{SS}}$
1	monofásicas	aguas arriba	a	29	67	0,00964	0,46946
2	monofásicas	aguas arriba	b	12	13	0,00089	1,18266
3	monofásicas	aguas arriba	c	2	13	0,00016	1,13249
4	monofásicas	aguas arriba	a	66	67	0,00118	0,46735
5	monofásicas	aguas abajo	a	44	13	0,03199	4,66052
6	monofásicas	aguas abajo	c	78	67	0,00032	1,16277
7	monofásicas	aguas abajo	c	47	13	0,03109	1,11083
8	monofásicas	aguas abajo	a	50	13	0,00490	10,27746
9	bifásicas	aguas arriba	a, b	60	67	0,00035	0,52363
10	bifásicas	aguas arriba	a, b	8	13	0,00087	0,51634
11	bifásicas	aguas arriba	b, c	66	67	0,02008	1,12604
12	bifásicas	aguas arriba	a, b	63	67	0,02051	0,14279
13	bifásicas	aguas abajo	a, b	95	67	0,00063	8,83566
14	bifásicas	aguas abajo	b, c	60	sub	0,00174	0,99240
15	bifásicas	aguas abajo	a, c	83	67	0,07727	0,98564
16	bifásicas	aguas abajo	b, c	89	67	0,00115	9,72646
17	trifásicas	aguas arriba	a, b, c	25	67	0,00379	0,34431
18	trifásicas	aguas arriba	a, b, c	152	67	0,00499	0,00026
19	trifásicas	aguas arriba	a, b, c	63	67	0,02050	0,13840
20	trifásicas	aguas arriba	a, b, c	66	67	0,00225	0,47612
21	trifásicas	aguas abajo	a, b, c	48	sub	0,00062	6,04558
22	trifásicas	aguas abajo	a, b, c	91	67	0,00306	10,46868
23	trifásicas	aguas abajo	a, b, c	76	67	0,00177	13,60697
24	trifásicas	aguas abajo	a, b, c	86	67	0,00142	11,97905

Para probar la veracidad de este algoritmo se utilizaron 500 huecos sintéticos originados mediante simulaciones. En la Tabla II se visualizan los resultados del algoritmo evaluado para una muestra de 24 huecos. Al observar detenidamente esta tabla no se identifica un patrón o tendencia que permita diagnosticar correctamente la localización relativa de un hueco de tensión.

Analizando las fallas simuladas por los dos descriptores no se llegó a ninguna tendencia, tanto el valor eficaz de la corriente como la diferencia entre la potencia de prefalla y la de falla, y los umbrales elegido para la localización relativa son deficientes, obteniendo resultado no esperado, la base de datos y los resultados para un número de 500 fallas son mostrado en el anexo B2.



### 3.3 LOCALIZACIÓN RELATIVA DE HUECOS DE TENSIÓN A PARTIR DE LA MEDICIÓN DE TENSIÓN EN LOS LADOS PRIMARIO Y SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR.

Para la validación de este método se implementó el mismo sistema de los métodos anteriores con la diferencia que se le introdujo un transformador de potencia y se tomo como medida la tensión en el lado primario y secundario del equipo.

Inicialmente se realizan fallas en el sistema eléctrico de prueba y se analiza su comportamiento, para así estimar una relación en la localización del hueco de tensión.

A continuación se halla la relación de tensión entre el lado primario y secundario del transformador.

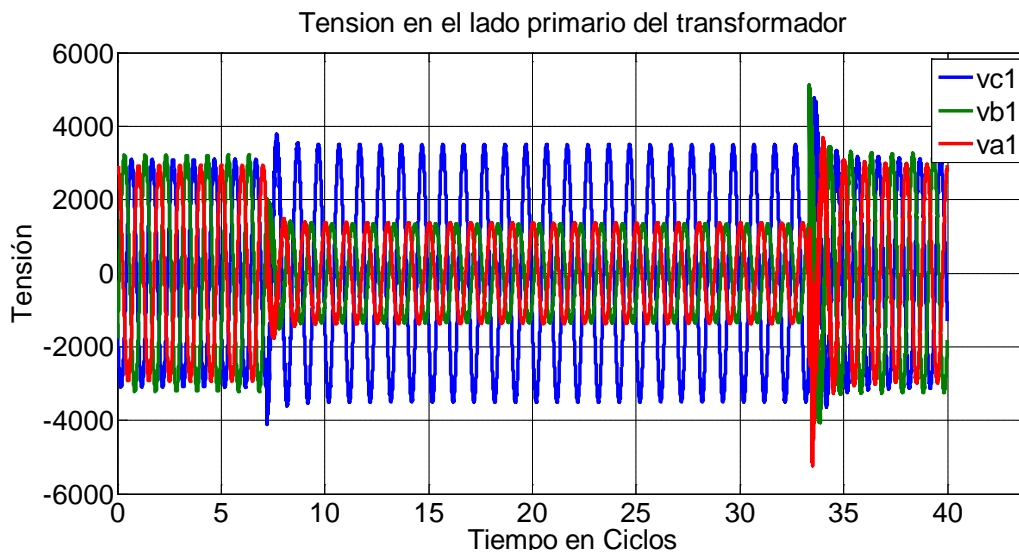


Figura 31. Fallas bifásica a tierra.

En la Figura 31, se tiene la tensión de una falla bifásica a tierra originada en el nodo 29 y vista por el lado primario del transformador ubicado entre los nodos 60 y 67. Se observa que la falla es localizada aguas arriba del medidor.

El comportamiento de la onda de tensión al momento del evento, presenta un notorio cambio en las fases a las cuales le ocurre la falla.

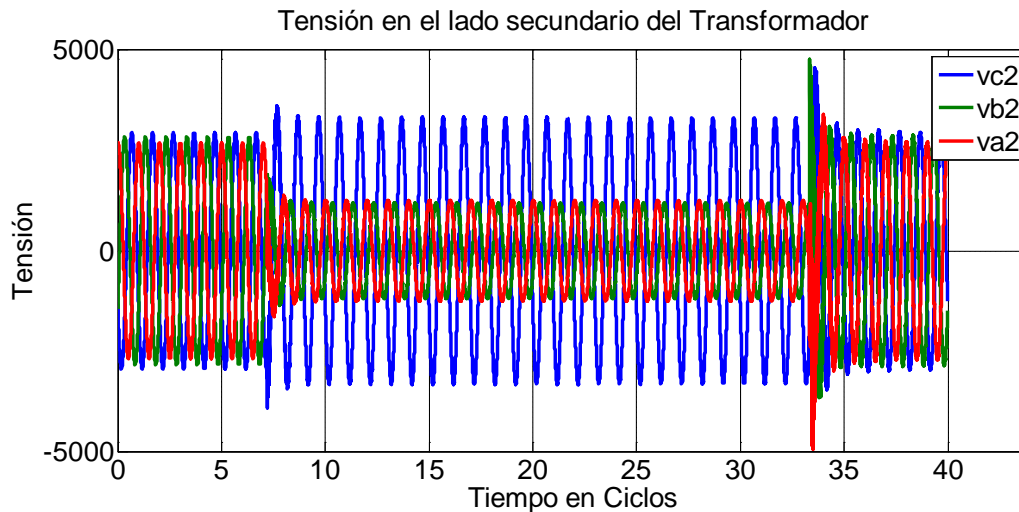


Figura 32. Fallas bifásica a tierra.

En la Figura 32, se tiene la tensión de una falla bifásica a tierra originada en el nodo 29 y vista por el lado secundario del transformador ubicado entre los nodos 60 y 67. Se observa que la falla es localizada aguas arriba del medidor.

Se visualizó la tensión del lado primario y secundario del transformador durante una falla, el comportamiento de las tensiones es el mismo con algunas diferencias en la magnitud. Otra característica importante de esta gráfica es que se evidencia claramente el tiempo donde ocurre la falla, sirviendo para hallar la tensión del hueco y la tensión de pre-falla.

A continuación se estudia la relación que existe entre las tensiones eficaz medida en los lados del transformador, con la localización relativa de aguas arriba o abajo de los huecos de tensión originados en las fallas.

### 3.3.1 Huecos de tensión originados aguas arriba

Cuando la falla es ocasionada aguas arriba teniendo como referencia la medida de solo tensión, se puede analizar el comportamiento de la tensión y la corriente durante el evento y así poder saber el comportamiento de cada una de ellas ante los distintos tipos de fallas. En este caso se analiza los dos tipos más significativos que permiten ratificar la metodología de localización relativa de huecos de tensión midiendo solo tensión [4].

#### 3.3.1.1 Falla bifásica a tierra originada aguas arriba

Tensión eficaz visto del lado primario y secundario del transformador durante la fallas bifásica a tierra donde la fase  $V_c$  experimenta un leve aumento mientras las



fases donde ocurre el evento se precipitan a cero teniendo en cuenta que la falla es ocasionada aguas arriba.

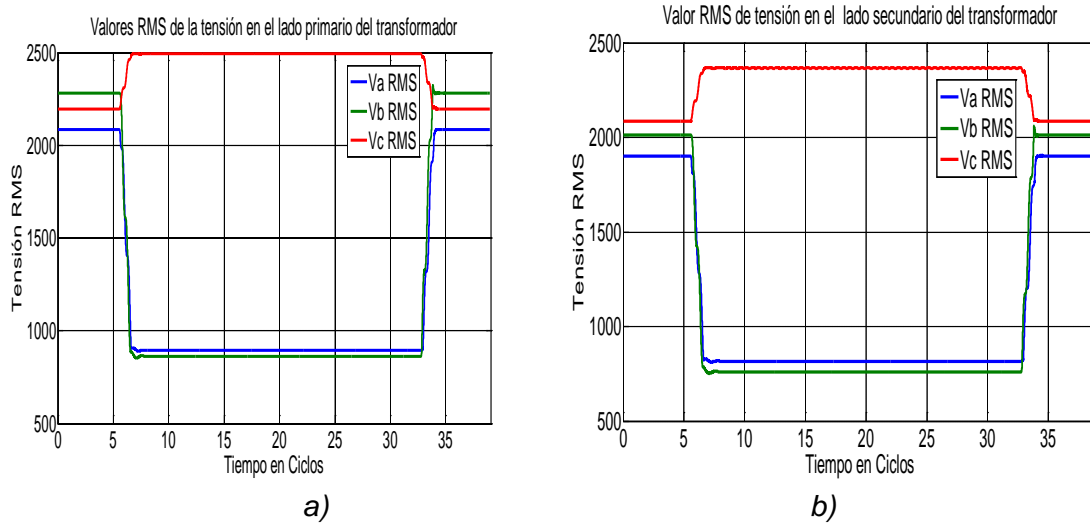


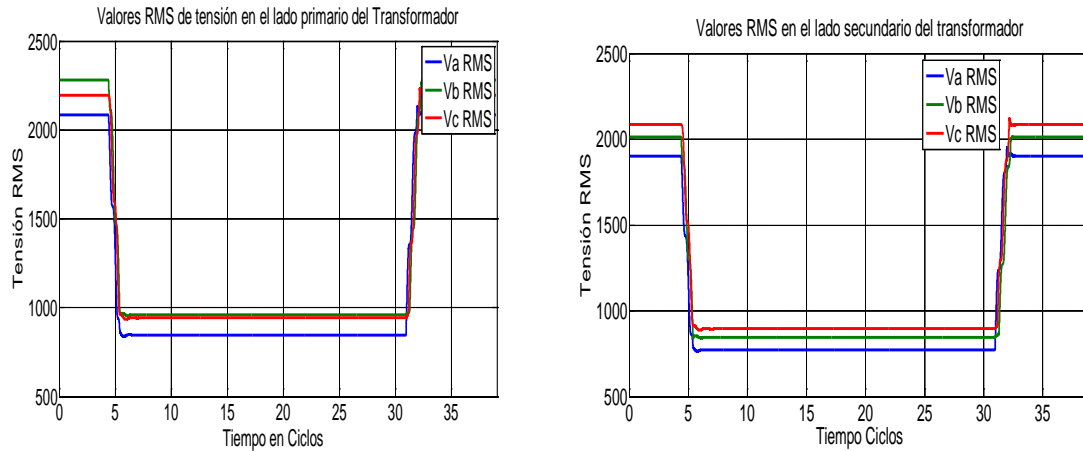
Figura 33. Tensión eficaz medida en los lados del transformador  
 Tensión eficaz del lado primario b) tensión eficaz del lado secundario

En la Figura 33, se tiene la tensión eficaz de una falla bifásica a tierra originada en el nodo 28 y vista por el lado primario y secundario del transformador ubicado entre los nodos 60 y 67. Se observa que la falla es localizada aguas arriba del medidor.

El valor de tensión eficaz visto del lado secundario Figura 33 b), del transformador experimenta un aumento notorio en la magnitud en relación con el lado primario Figura 33 a), mientras las fases donde ocurre el evento se precipitan a cero, con una diferencia bien marcada que permite corroborar el planteamiento propuesto previamente [4].

### 3.3.1.2 Falla trifásica originada aguas arriba

Cuando se genera una fallas trifásica en el lado primario del transformador se observa el comportamiento de la tensión eficaz durante la fallas y todas las fases se precipitan a cero cuando el medidor está ubicado después de la fallas.



a) *Figura 34. Tensión eficaz medida en los lados del transformador*  
 b) *Tensión eficaz del lado primario b) tensión eficaz del lado secundario*

En la Figura 34, se tiene la tensión eficaz de una falla trifásica originada en el nodo 29 y vista por el lado primario y secundario del transformador ubicado entre los nodos 60 y 67.

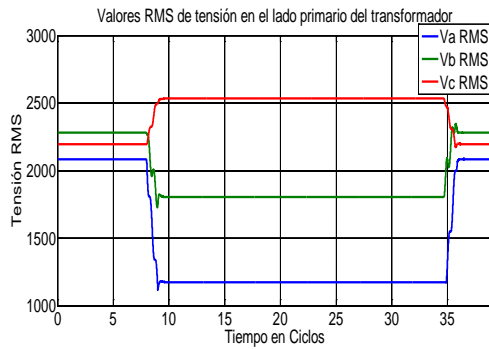
La tensión eficaz medida en el lado secundario del transformador Figura 34, b), durante la ocurrencia del hueco presenta una disminución de magnitud, a diferencia la tensión vista del lado primario del transformador Figura 34, a). Cuando la falla se origina aguas arriba se observa que la magnitud de tensión registrada en el lado secundario del transformador es menor a la registrada por el lado primario del transformador.

### 3.3.2 Huecos de tensión originados aguas abajo.

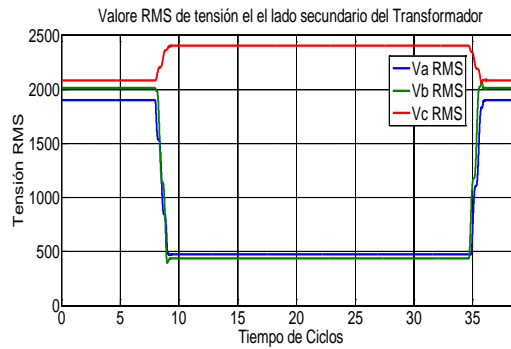
Para las fallas ocasionadas aguas abajo teniendo como referencia la medida de solo tensión, se analiza el comportamiento de la tensión antes y durante el evento y así poder saber la tendencia de cada una para la localización relativa de huecos de tensión.

#### 3.3.2.1 Falla bifásica a tierra originada aguas abajo

Analizando el comportamiento de los valores eficaces de la tensión del primario y del secundario del transformador para huecos localizados aguas arriba, se observa que gran similitud entre ellas, cuando ocurre el evento la magnitud de la tensión en las fases donde se hacen la falla presenta una disminución, en este caso la fase Va y Vb. Después que finaliza el evento estas tensiones vuelven a su valor nominal.



a)



b)

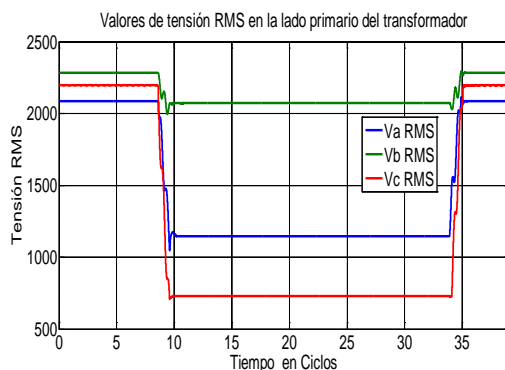
Figura 35. Tensión eficaz medida en los lados del transformador  
 Tensión eficaz del lado primario b) tensión eficaz del lado secundario

En la Figura 35, se muestra la tensión eficaz de una falla bifásica a tierra fallando las fases a y b, es originada en el nodo 81 y vista por el lado primario y secundario del transformador ubicado entre los nodos 60 y 67. La falla es localizada aguas abajo del medidor.

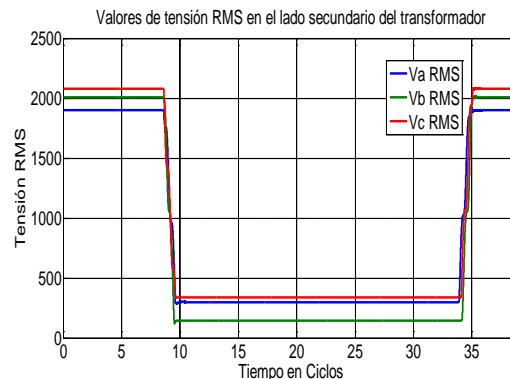
La figura 35 a) muestra la tensión eficaz medida en el lado primario del transformador, durante la falla la fase c experimenta un aumento de tensión mientras que las fases donde ocurre el evento presentan una caída en la magnitud. En el lado secundario del transformador las tensiones en las tres fases disminuyen a un valor más bajo que en el lado primario, como se observa en la figura 35 b), a diferencia del anterior en este lado las tres fases presentan el mismo comportamiento.

### 3.3.2.2 Falla trifásica vista aguas abajo

A continuación se genera una falla trifásica analizando la corriente eficaz antes y durante la falla, registrada en cada uno de los lados del transformador



a)



b)

*Figura 36. Tensión eficaz vista del transformador  
Tensión eficaz del lado primario b) tensión eficaz del lado secundario*

En la Figura 36, se tiene la tensión eficaz de una falla trifásica originada en el nodo 99 y medida por el lado primario y secundario del transformador ubicado entre los nodos 60 y 67. La falla es localizada aguas abajo del medidor.

Nuevamente se puede identificar una variación en el comportamiento de las dos figuras y así poder establecer un algoritmo que permita caracterizar la localización relativa de la falla trifásica. Las tensiones eficaces registradas en Figura 33, a) presentan una disminución en las tres fases, aunque existe una diferencia entre cada una de ellas, mientras que en la figura 33 b) las tres fases disminuyen acercándose a un mismo valor.

### 3.3.2.3 Análisis de resultados implementando la tecnología

*Tabla III. Análisis de resultados para el método de localización relativa de huecos partir de la medición de tensión en los lados primario y secundario del transformador.*

Nº	Tipo	Ubicación	fase de falla	Nodo de falla	Nodo de medida	DV1-DV2
1	monofásicas	aguas arriba	b	29	transformador	0,64051
2	monofásicas	aguas arriba	a	25	transformador	0,00017
3	monofásicas	aguas arriba	a	48	transformador	0,00015
4	monofásicas	aguas arriba	b	28	transformador	0,68960
5	monofásicas	aguas abajo	a	108	transformador	0,31446
6	monofásicas	aguas abajo	a	101	transformador	0,38897
7	monofásicas	aguas abajo	a	99	transformador	0,32043
8	monofásicas	aguas abajo	a	79	transformador	0,30558
9	bifásicas	aguas arriba	a, b	29	transformador	0,02803
10	bifásicas	aguas arriba	a, b	48	transformador	0,03703
11	bifásicas	aguas arriba	a, b	66	transformador	0,01813
12	bifásicas	aguas arriba	a, b	56	transformador	0,03524
13	bifásicas	aguas abajo	a, b	108	transformador	0,37938
14	bifásicas	aguas abajo	a, b	97	transformador	0,44712
15	bifásicas	aguas abajo	a, b	98	transformador	0,42407
16	bifásicas	aguas abajo	a, b	87	transformador	0,34795
17	trifásicas	aguas arriba	a, b, c	25	transformador	0,00013
18	trifásicas	aguas arriba	a, b, c	48	transformador	0,00014
19	trifásicas	aguas arriba	a, b, c	44	transformador	0,00014
20	trifásicas	aguas arriba	a, b, c	64	transformador	0,00129
21	trifásicas	aguas abajo	a, b, c	79	transformador	0,45269
22	trifásicas	aguas abajo	a, b, c	100	transformador	0,45450
23	trifásicas	aguas abajo	a, b, c	80	transformador	0,43436
24	trifásicas	aguas abajo	a, b, c	98	transformador	0,51377



$$DV_1 = \frac{V_{1 \text{ hueco}}}{V_{1 \text{ prefalla}}} \text{ Relación de tensión lado primario (3.14)}$$

$$DV_2 = \frac{V_{2 \text{ hueco}}}{V_{2 \text{ prefalla}}} \text{ Relación de tensión lado secundario (3.15)}$$

En la Tabla III se analiza la metodología para un total de 24 huecos sintéticos de tensión, estos huecos se clasifican de acuerdo a la localización real y al tipo de falla que los originan. Se halla la diferencia  $DV_1 - DV_2$ , y con la ayuda de la herramienta *CN2* se optimizan estos valores de acuerdo a la localización real del hueco para encontrar un umbral de decisión que permita localizar de manera eficiente una localización relativa de tensión.

#### 3.3.2.4 Resultados con el algoritmo de solo tensión.

Este es el algoritmo que da como resultado del estudio de la localización relativa de huecos de tensión midiendo solo tensión [4].

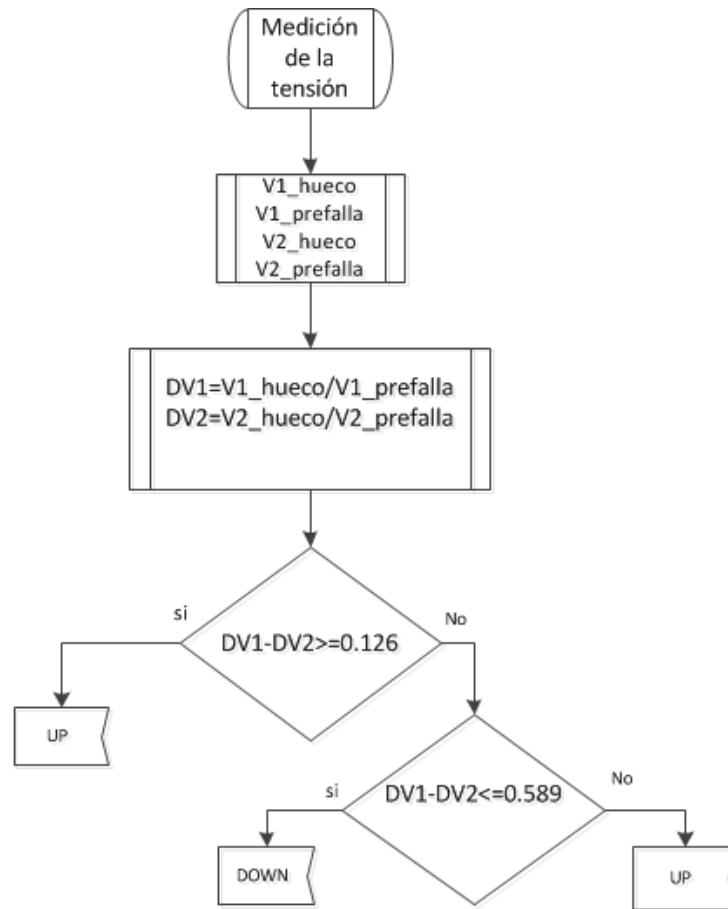


Figura 37. Algoritmo de solo tensión.

En este caso se necesita cuatro entradas de tensión, las tensiones de prefalla y de hueco en los lados primario y secundario del transformador. Se obtiene dos índices de la relación entre tensión prefalla y de hueco para los dos lados del transformador, la diferencia entre los dos índices debe ser mayor que 0.126 para que la fallas fuese ocasionada aguas arriba, de lo contrario se tiene en cuenta que la diferencia entre los índices es menor que 0.589 para que el hueco es ocasionado aguas abajo, de lo contrario el aguas arriba.

#### 4. PRUEBAS CON PERTURBACIONES REALES REGISTRADAS EN ENDESA.

Teniendo en cuenta la base de datos suministrada por la empresa española ENDESA se hace un análisis para la localización relativa de huecos de tensión con cada una de las metodologías planteadas anteriormente.

##### 4.1 LOCALIZACIÓN RELATIVA DE HUECOS DE TENSIÓN BASADOS EN LA SECUENCIA POSITIVA DE LA CORRIENTE.



4.1.1 Hueco de tensión monofásico localizado aguas abajo.

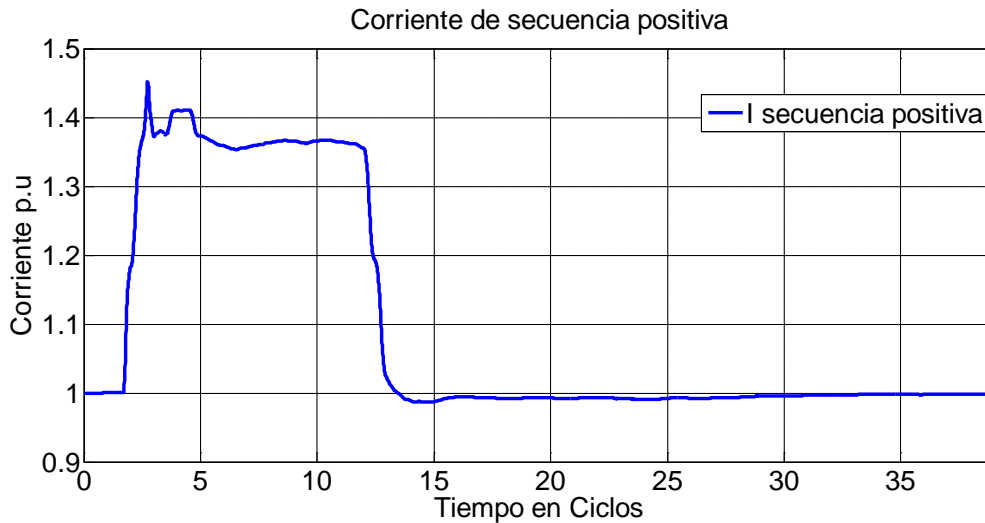


Figura 38. Corriente de secuencia positiva de una falla monofásica localizada aguas abajo del punto de medida.

Como se observa en la Figura 38, cuando la falla sucede aguas abajo del punto de medida, durante el hueco la magnitud de la secuencia positiva de la corriente aumenta un 40% al valor de prefalla.

4.1.2 Hueco de tensión monofásico localizado **aguas arriba**

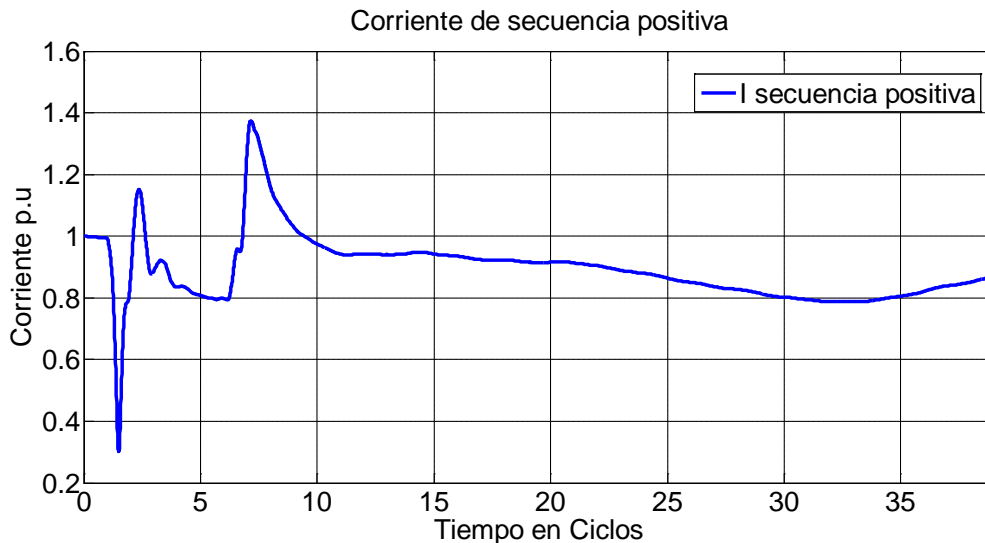


Figura 39. Corriente de secuencia positiva de una falla monofásica localizada aguas arriba del punto de medida.



En la Figura 39 la falla localizada aguas arriba observa que la magnitud de la corriente durante el hueco disminuye en relación a la de estado estable, para esta falla monofásica la disminución es alrededor del 45 %, en su punto más bajo.

#### 4.1.3 Hueco de Tensión bifásico localizado aguas abajo

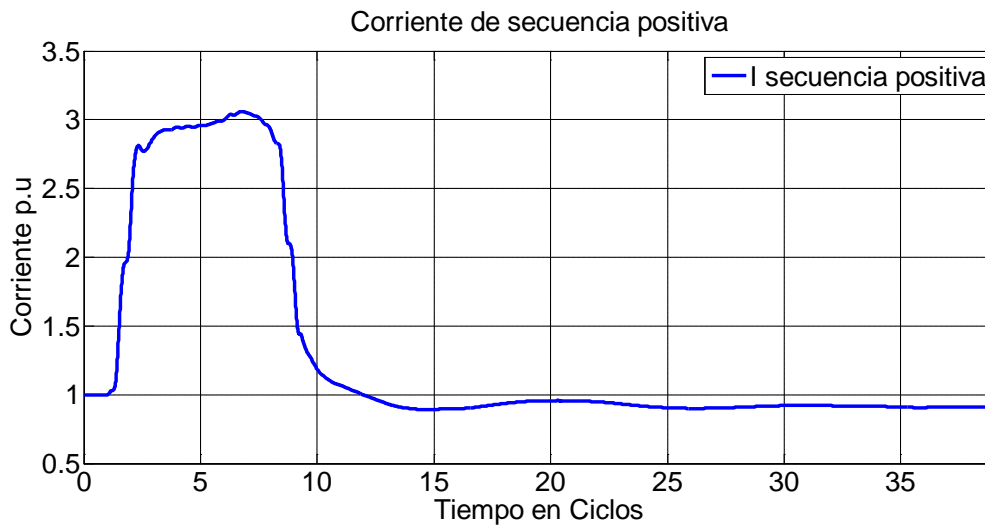


Figura 40. Corriente de secuencia positiva de una falla bifásica localizada aguas abajo del punto de medida.

En la Figura 40 la falla bifásica localizada aguas abajo del medidor tiene el mismo comportamiento para las fallas monofásicas, durante la ocurrencia del evento la magnitud de la corriente de secuencia positiva experimenta un aumento en magnitud comparada con la corriente de pre-falla.



#### 4.1.4 Huevo de tensión bifásico localizado **aguas arriba**

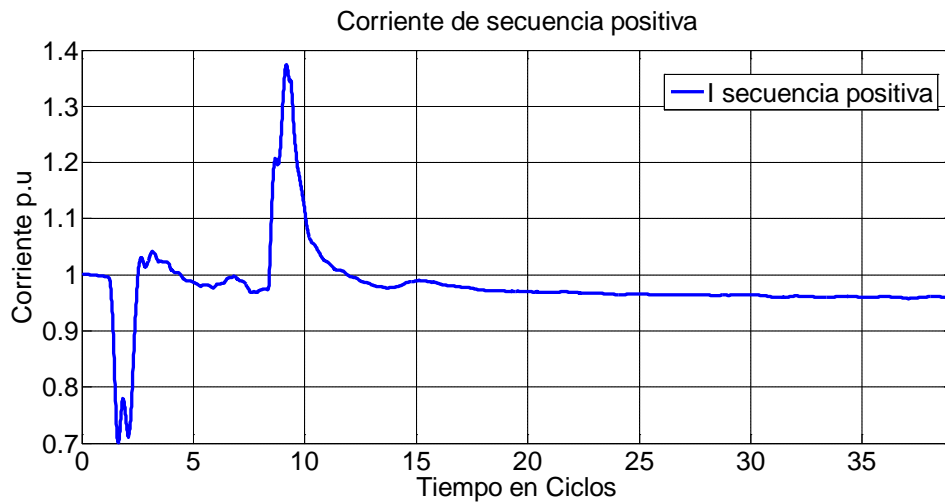


Figura 41. Corriente de secuencia positiva de una falla bifásica localizada aguas arriba del punto de medida.

Para las fallas localizadas aguas arriba, la corriente de secuencia positiva durante el evento varía constantemente como se observa en la Figura 41, cuando sucede el evento la corriente aumenta su magnitud y regresa a su estado estable después de terminado el suceso. Claramente se aprecia en la Figura 41 que la corriente de secuencia positiva durante el hueco de tensión es mayor a la registrada antes que este se originara, esta relación se convierte en una característica relevante para la localización relativa de huecos, y a su vez presenta el mismo comportamiento para la falla monofásica.

#### 4.1.5 Huevo de tensión trifásico localizado **aguas abajo**

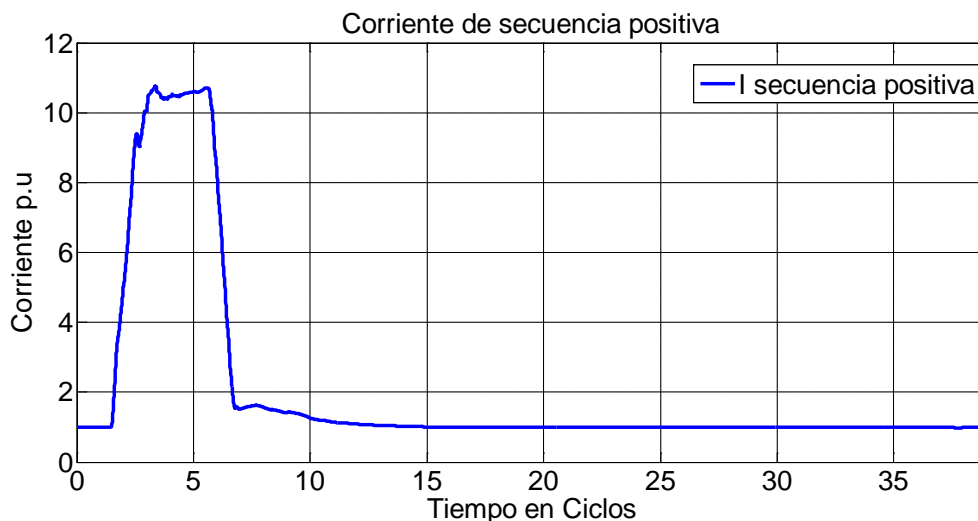




Figura 42. Corriente de secuencia positiva de una falla trifásica localizada aguas abajo del punto de medida.

Al igual que para los dos tipos de fallas explicados anteriormente, para las fallas trifásicas se presenta el mismo comportamiento, el corriente de secuencia positiva durante el hueco sufre un aumento considerable si se compara con la corriente de pre-falla como se muestra en la Figura 42.

#### 4.1.6 Hueco de tensión trifásico localizado aguas arriba

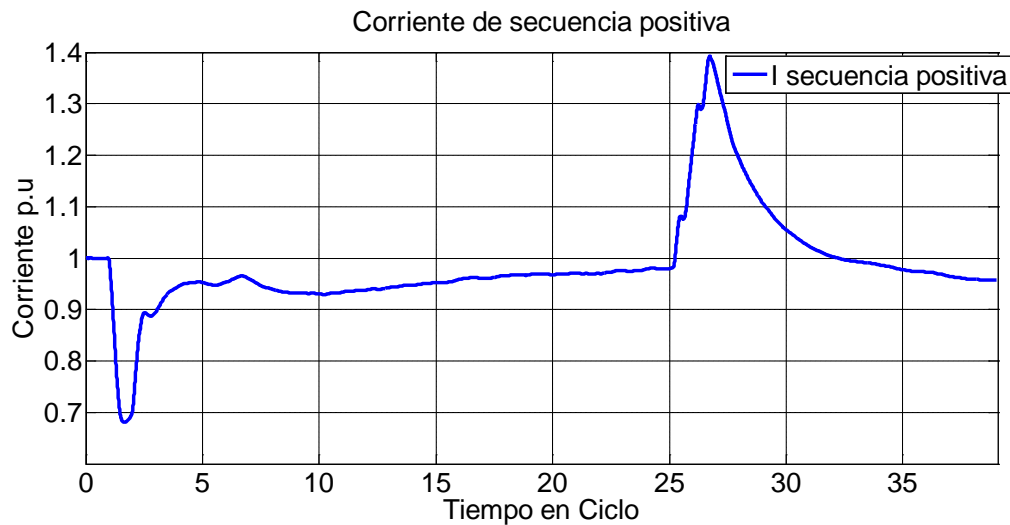


Figura 43. Corriente de secuencia positiva de una falla trifásica localizada aguas arriba del punto de medida.

Para la falla trifásica se observa una disminución de magnitud en la corriente de secuencia positiva en un primer intervalo, de acuerdo a lo explicado anteriormente este es una característica propia de las fallas localizada aguas arriba, como realmente se localizó esta falla.

#### 4.1.7 Energización de transformadores aguas abajo generados por huecos trifásicos

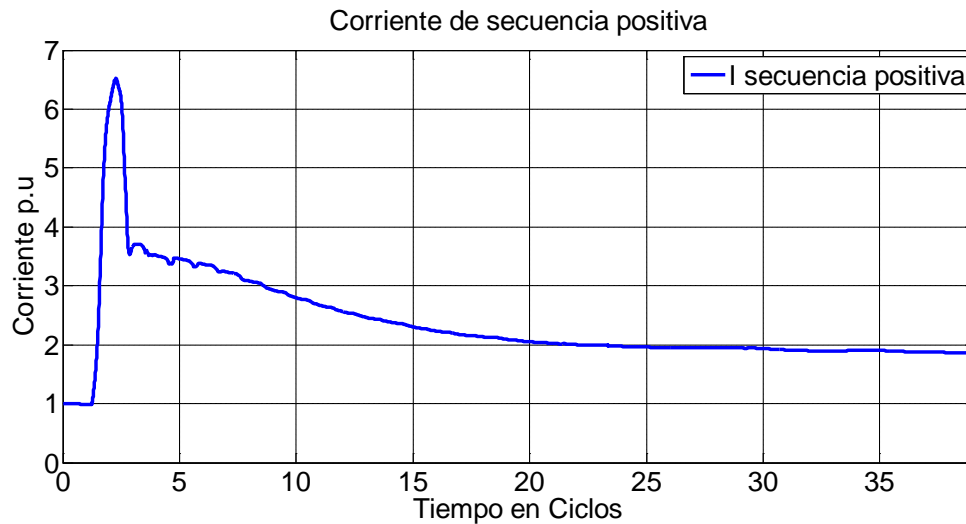


Figura 44. Energización del transformador.

En la figura 44 se observa un hueco trifásico originado por la energización de un transformador, durante la ocurrencia del hueco, la corriente de secuencia positiva presenta un salto de magnitud. Para la localización aguas abajo cumple con las características de los tipos de fallas anteriores, es decir que la corriente de secuencia positiva durante el hueco es mayor a la corriente de prefalla.

#### 4.1.8 Energización de transformadores aguas abajo

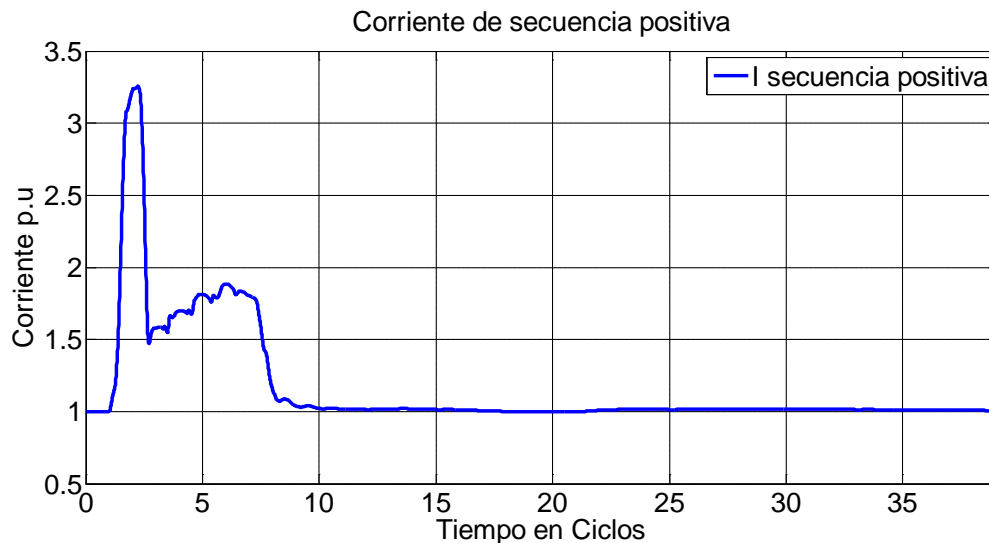


Figura 45. Energización del transformador.

Al igual que en la Figura 44, en la Figura 45 se muestra huecos originados por la energización de un transformador aguas abajo. Las características de estas dos

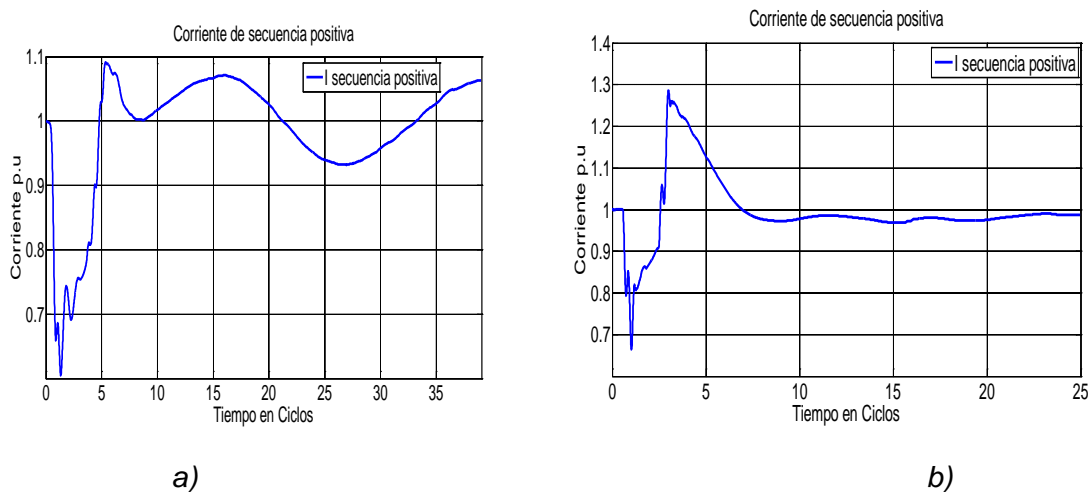


graficas son bastante parecidas, durante la ocurrencia del hueco la magnitud de corriente de secuencia positiva presenta un pico, por tal razón la corriente durante el hueco aumenta con relación a la de pre falla cumpliéndose lo estipulado en el algoritmo.

#### 4.1.9 Evaluación del algoritmo.

Aunque la base de ENDESA consta de 464 muestras solo se evalúan un total de 289 muestras donde fue posible estimar la duración de la perturbación.

A continuación se muestra unos de esos casos atípicos, donde la segmentación no fue lo suficientemente grande para evaluar el algoritmo.



a) b)  
 Figura 46. Corriente de secuencia positiva para fallas localizadas aguas arriba del medidor  
 a) Falla monofásica b) Falla bifásica

Como se aprecia en la Figura 46, ambas fallas suceden en tiempos muy pequeños, por lo que el algoritmo no pudo sintetizarlos completamente, además de esa característica se puede evidenciar que la falla inicia inmediatamente toma la lectura el medidor, por lo tanto es imposible que el algoritmo tome un valor de prefalla para hacer la comparación con el de falla, y así obtener el resultado esperado.

Tabla IV. Análisis de resultados a partir de la base de ENDESA.

Base de datos de ENDESA					
Tipo	Aguas arriba	Aguas Abajo	Aciertos	Desaciertos	Eficiencia
Monofásica	31	136	159	8	95,2 %
Bifásica	44	17	50	11	81,2 %
Trifásica	6	13	17	2	89,5%
Transformador	0	17	14	3	82,3 %



Multi estados	0	25	25	0	100 %
Total	81	208	265	24	91,7 %

Se hace el análisis para todos los tipos de fallas como se muestran en la Tabla IV, mostrando los aciertos, desaciertos y eficiencia para cada tipo de perturbación.

Cuando la falla ocurre aguas abajo, el algoritmo no presenta errores, sin embargo se generaliza las dos localizaciones relativas para estimar la eficiencia del algoritmo. La eficiencia de este algoritmo fue superior al 80% en cada tipo de falla, por lo anterior se puede catalogar como un método bastante acertado y eficiente en el momento de localizar una falla en una red.

## 4.2. LOCALIZACIÓN RELATIVA DE HUECOS DE Tensión A PARTIR DE MEDICIONES DE Tensión Y CORRIENTE.

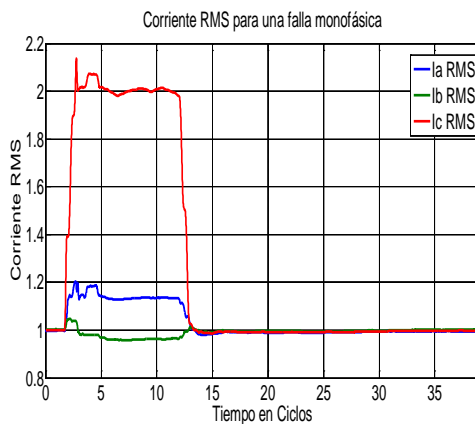
### 4.2.1 Corriente eficaz en una fallas en las líneas

Para evaluar la localización relativa del hueco de la tensión basta hallar la relación de las magnitudes de la corriente antes y durante la falla y compararla con un umbral de decisión como se muestra en las Ecuaciones 4.1 y 4.2.

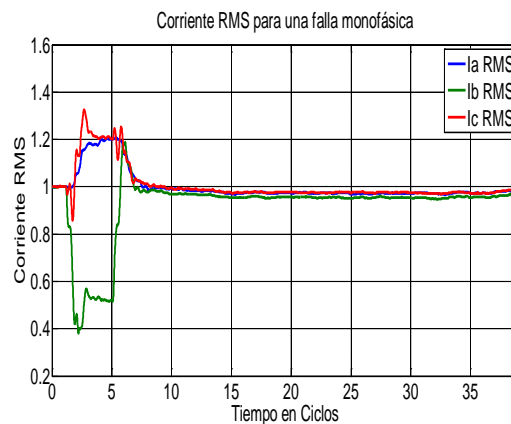
$$\frac{I_{sag}}{I_{SS}} \geq Thr_{LF} \quad \text{agua abajo} \quad (4.1)$$

$$\frac{I_{sag}}{I_{SS}} < Thr_{LF} \quad \text{agua arriba} \quad (4.2)$$

### 4.2.2 Corriente eficaz de una falla monofásica.



a)



b)

Figura 47. Corriente eficaz para una falla monofásica  
 a) Aguas abajo b) Aguas arriba

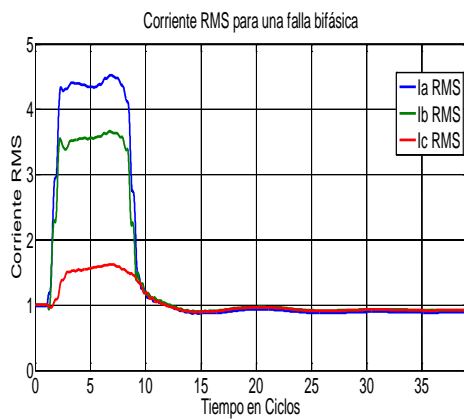


En la figura 47 se muestran la corriente eficaz para las dos localizaciones de la falla, si la falla ocurre aguas abajo del punto de medida el valor de la corriente eficaz durante la falla es superior al de estado estable, sucede lo contrario para las fallas localizadas aguas arriba del medidor, aunque dos fases están por encima del valor de estado estable, el algoritmo selecciona la falla de menor magnitud, para este caso es la fase donde ocurre la falla. Claramente se observa que:

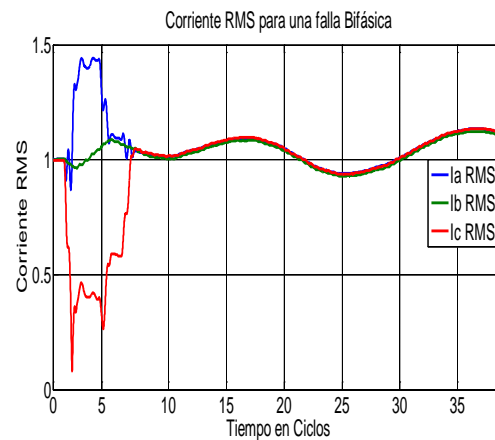
$$I_{sag} \geq I_{ss} \quad \text{agua abajo} \quad (4.3)$$

$$I_{sag} < I_{ss} \quad \text{agua arriba} \quad (4.4)$$

### 4.2.3 Corriente de una falla bifásica



a)



b)

Figura 48. Corriente eficaz para una falla bifásica  
 a) Aguas abajo b) Aguas arriba

Para las fallas bifásicas, la corriente eficaz sigue el mismo comportamiento, para la localización relativa aguas abajo del medidor la magnitud durante el hueco es mayor a la de estado estable, mientras que para la localización relativa aguas arriba la magnitud del hueco es menor a la de estado estable, por lo tanto se cumple con las especificaciones explicadas en el algoritmo.

### 4.2.4 Corriente eficaz de una falla trifásica

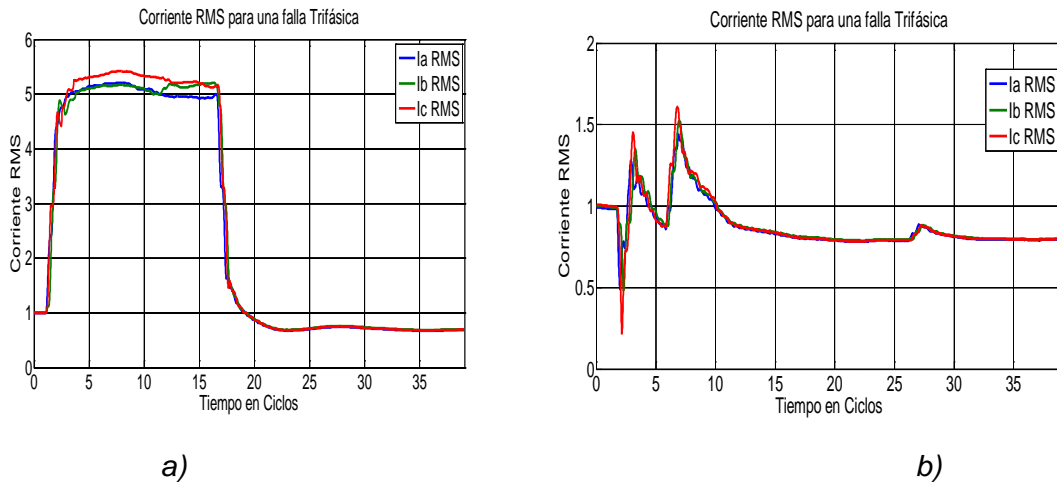


Figura 49. Corriente eficaz para una falla trifásica  
 a) Aguas abajo b) Aguas arriba

Para la localización relativa aguas abajo del medidor la corriente eficaz sigue con el mismo comportamiento de los tipos de fallas anteriores, aunque para la falla trifásica aguas arriba no se puede ver claramente la duración del hueco, pero si se toma el pico más bajo como corriente eficaz durante la falla, y se hace el análisis con el algoritmo se obtiene la relación deseada.

#### 4.2.5 Corriente eficaz de la saturación de transformadores

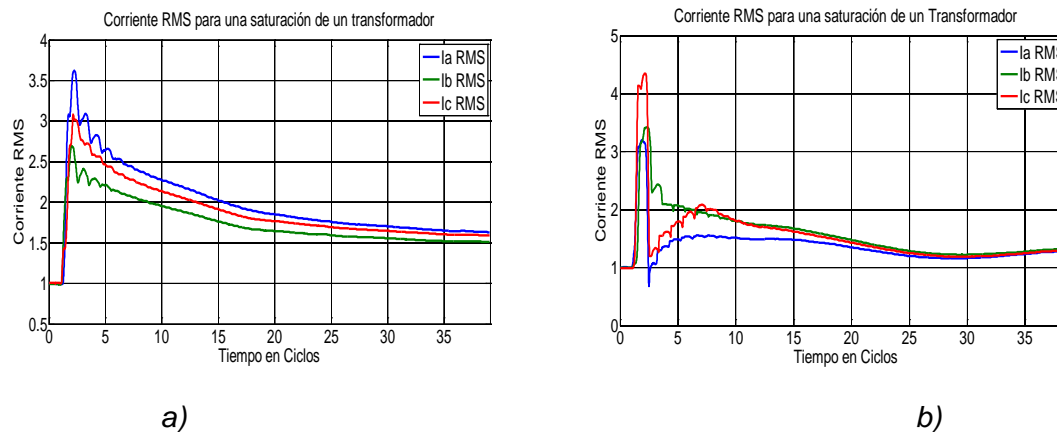
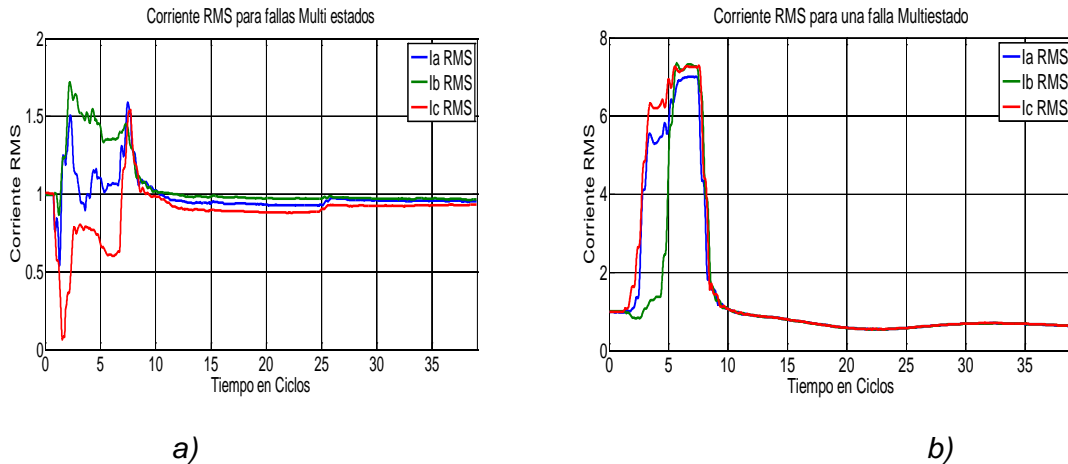


Figura 50. Corriente eficaz para una saturación del transformador  
 a) Aguas abajo huecos trifásicos b) Aguas abajo

En la Figura 50 se muestran dos casos para fallas originada aguas abajo, el comportamiento de las graficas es el mismo. un pico al inicio de la falla y luego se estabiliza. Como no se disponen de fallas originadas aguas arriba no se puede establecer la corriente eficaz como un patrón relevante en el momento de identificar un hueco ocasionado para la saturación de un transformador.



#### 4.2.5 Corriente eficaz de una falla multi estado



a) b)  
 Figura 51. Corriente eficaz para una fallas multi estado  
 a) Aguas abajo b) Aguas abajo

En la figura 51 a) y b) se muestran dos fallas localizadas aguas abajo, aunque la localización es la misma, presentan diferente comportamiento. La Figura 51 a) presenta una distorsión de las fases durante la ocurrencia de la falla, mientras que en la Figura 5 b) las tres fases tienen la misma forma durante la ocurrencia del evento.

#### 4.3 LOCALIZACIÓN RELATIVA DE HUECOS DE TENSIÓN A PARTIR DE LA MEDICIÓN DE TENSIÓN EN LOS LADOS PRIMARIO Y SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR.

El algoritmo de solo tensión propuesto en [4] se fundamenta únicamente en la medición de las tensiones eficaces de los lados primario y secundario de un transformador, como las pruebas de ENDESA registran tensión solo en la cabecera del circuito, no se pudo implementar la base de datos a este algoritmo.

### 5. DESARROLLO DE LA NUEVA PROPUESTA METODOLÓGICA BASADA EN MEDICIONES DE SOLO TENSIÓN

Analizadas las diferentes metodologías existentes para la localización relativa de huecos de tensión, se observa que todas ellas se fundamenta a partir de la medición de tensión y corriente. Considerando que en algunas situaciones no son fáciles de obtener o que no se dispone de los equipos suficientes para registrar la medida de corriente, se ve la obligación de diseñar un algoritmo que dependa



únicamente de la medición de la tensión. Para diseñar esta metodología inicialmente se identifican y se relacionan los descriptores más relevantes que puedan diagnosticar con gran precisión una localización relativa del hueco de tensión. Posteriormente se selecciona los umbrales adecuados con los cuales se puedan discriminar si el hueco es originado aguas arriba o aguas abajo del equipo de medida. Y para finalizar se diseña el algoritmo implementado por medio de un diagrama de flujo, donde se explica más detalladamente la funcionalidad de esta nueva metodología.

### 5.1 IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS DESCRIPTORES RELEVANTES.

A partir de la información extraída de un análisis del comportamiento de las fallas, se realiza un estudio de los factores más relevantes en cada uno de los eventos y con esta información se procede a identificar y seleccionar los descriptores de la metodología planteada.

#### 5.1.1 Secuencia positiva de la tensión

A continuación se describe las características más importantes de la utilización de secuencia positiva.

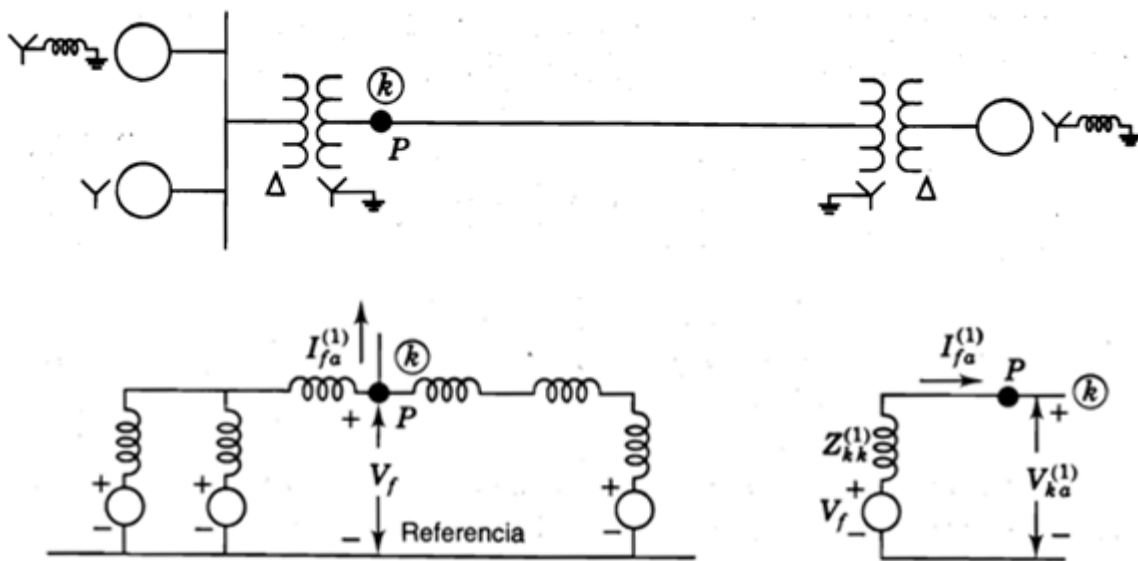


Figura 52. Equivalente de secuencia positiva. [7]

- a) Diagrama unifilar del sistema trifásico balanceado
- b) red de secuencia positiva
- c) Equivalente de Thévenin de la red de secuencia positiva



En la Figura 52(a) se muestra un sistema de potencia balanceado, donde se hace una falla en el punto p, en la figura 52(b) se visualiza el circuito equivalente de la secuencia positiva, mientras que en la Figura 52(c), muestra el equivalente Thévenin de la secuencia positiva de la red.

Donde:

P= punto de falla y el nodo de referencia

$V_f$ = tensión de prefalla al neutro

$V_{ka}$ = tensión en el punto de la falla

$Z_{kk}$ = impedancia de Thevenin, medida entre el punto p y el nodo de referencia

$I_{fa}$ = Corriente de falla

Se selecciona la secuencia positiva porque para la secuencia negativa y cero, no hay corrientes que fluyen antes de que ocurra la falla y los voltajes de prefallas son cero en todas las barras de las redes, tanto como para secuencia negativa como para secuencia cero. Por esta razón el voltaje prefalla entre el punto P y el nodo de referencia es cero para las secuencias positivas y ceros.

Para hallar la tensión de secuencia positiva se utiliza la transformada de Fourier

$$V(k, i) = \sum_{n=1}^n a(\cos b(k, i) + j \sin b(k, i)) \quad i = 1, 2, 3. \quad (5.1)$$

Donde:

n= números de muestra

a= tensión eficaz

b= ángulo de fase

i= número de fase

Después de calcular la tensión de falla en las barras, se calcula la tensión de secuencia positiva a partir de la ecuación (5.2).

$$\begin{bmatrix} V_k^{(0)} \\ V_k^{(+)} \\ V_k^{(-)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{k,1} \\ V_{k,2} \\ V_{k,3} \end{bmatrix} \quad a = 1 < 120^\circ \quad (5.2)$$



### 5.1.2 Valores eficaces de la tensión.

Para desarrollar el algoritmo las señales de tensión eficaz se calculan haciendo uso de la Transformada Corta de Fourier (SFT). Convirtiendo una secuencia de tiempo en secuencia rms.

Los valores eficaces se obtienen a partir de una ventana deslizante de un ciclo y 1024 muestras de longitud.

Valor eficaz:

El valor eficaz se calcula de acuerdo con la ecuación (5.3), donde N es el número de muestra, y  $v_i$  es la tensión de fase.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2} \quad (5.3)$$

Valor eficaz obtenido cada muestra

$$V_{rms}(k) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=k-N+1}^k v_i^2} \quad (5.4)$$

## 5.2 ANÁLISIS DE LOS DESCRIPTORES.

Como se explica anteriormente, la secuencia positiva es importante para el análisis de fallas asimétricas en los sistemas de potencia porque está presente en todo los tipos de fallas, por tal razón se escoge esta variable para hacer un análisis detallado en la localización relativa de un hueco en un sistema de potencia. Con la medición de la tensión en secuencia positiva durante un evento se puede caracterizar el sistema de acuerdo a al lugar donde se originó la falla.

### 5.2.1 Fallas aguas arriba del medidor $M_1$ .

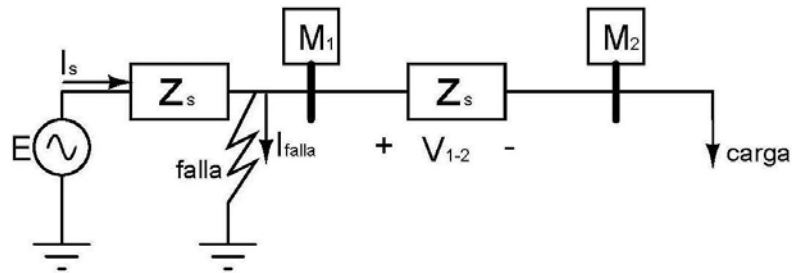


Figura 53. Fallas aguas arriba del medidor  $M_1$ .

La Figura 53, ilustra una falla generada aguas arriba del medidor  $M_1$ . Si la falla se origina aguas arriba del medidor  $M_1$ , se espera que la tensión en ese punto se reduzca debido a la disminución de corriente que fluye por el medidor, para este caso es de esperar que gran parte de la corriente que proporciona la fuente de tensión se desvíe con la corriente de falla.

$$I_s \cong I_{falla} \quad (5.5)$$

El sistema propuesto [12] contiene dos medidores ubicados en punto estratégicos el uno con el otro, con base a lo explicado anteriormente si la tensión de secuencia positiva calculada en el medidor  $M_1$  es muy baja quiere decir que hubo un falla antes, originando una disminución de corriente de la que fluye por el medidor  $M_1$ .

### 5.2.2 Fallas aguas abajo del medidor $M_2$ .

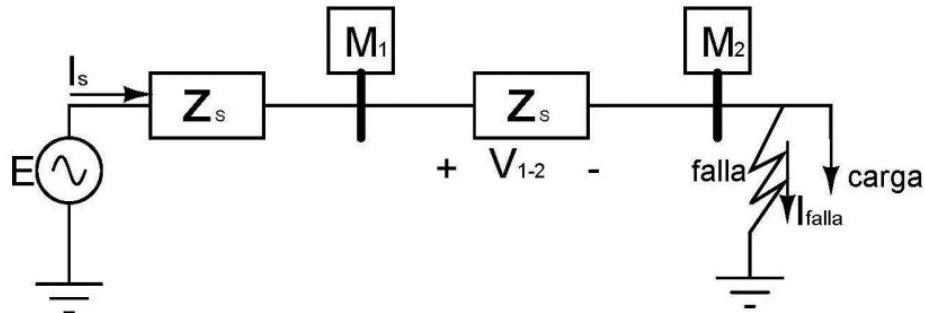


Figura 54. Fallas aguas abajo del medidor  $M_2$

Para el caso contrario cuando la falla es originada aguas abajo del medidor  $M_2$  como se observa en la figura 54, se espera que la tensión que se registre en el medidor  $M_2$  sea considerable, debido a que la caída tensión en  $V_{1-2}$  es mayor.

Cuando se hace el análisis anterior no se llega a un patrón que identificara la localización relativa de los huecos de tensión ocurridos durante un evento. La tensión de secuencia positiva siempre será menor que la tensión de estado estable sin importar la localización relativa del hueco. Si la falla ocurre aguas arriba del medidor  $M_1$  la lectura del medidor  $M_1$  como el medidor  $M_2$  son parecidas entonces la diferencia entre esas tensiones es un valor pequeño comparada con la tensión de estado estable. Contrariamente si la falla ocurre aguas abajo del medidor  $M_2$  las tensiones que registran los medidores  $M_1$  y  $M_2$  difieren mucho, por lo tanto esa diferencia de tensión va a ser significativa si se compara con la tensión de estado estable del sistema. Por esta razón se decide implementar el sistema con dos medidores, para obtener una resultado más confiable a la hora de hablar de localización relativa de huecos de tensión.

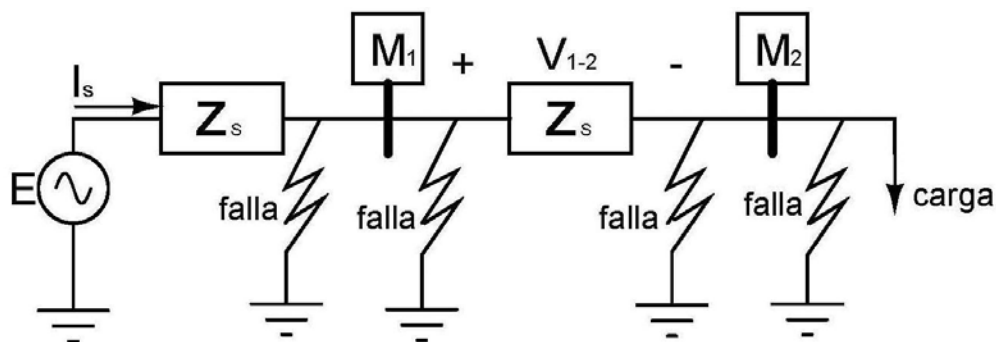


Figura 55. Fallas generadas en el sistema de potencia para identificación de los descriptores.



Relacionando los dos conceptos explicados anteriormente se hace un estudio para un sistema compuesto por dos medidores, como se observa en la Figura 55. Para esto se calcula la tensión de secuencia positiva vista desde los terminales donde se colocan los medidores  $V_{1-2}^{(+)}$  y se analizan para diferentes localizaciones de las fallas. Como era de esperarse la tensión entre  $M_1$  y  $M_2$  es relativamente pequeña cuando la falla sucede antes del medidor  $M_1$ , es decir, aguas arriba de  $M_1$ , y mayor cuando la perturbación sucede aguas arriba del medidor  $M_2$ . Con base a este análisis se tiene una relación válida para cuando la falla sucede antes del medidor  $M_1$  y después del  $M_2$ .

Al relacionar la diferencia fasorial de secuencia positiva registrada entre los dos medidores  $V_{1-2}^{(+)}$  con la diferencia de tensión de prefalla secuencia positiva medida entre los dos medidores.  $V_{prefalla\ 1-2}^{(+)}$  Se establece que:

$$\frac{V_{1-2}^{(+)}}{V_{prefalla\ 1}^{(+)} - V_{prefalla\ 2}^{(+)}} < 1 \text{ Aguas arriba } M_1 \quad (5.6)$$

$$\frac{V_{1-2}^{(+)}}{V_{prefalla\ 1}^{(+)} - V_{prefalla\ 2}^{(+)}} > 1 \text{ Aguas abajo } M_2 \quad (5.7)$$

Si al analizar los valores de secuencia positiva y eficaz de una falla cumple con la ecuación (5,6) se asegura que la falla es localizada aguas arriba del medidor  $M_1$ . Caso contrario sucede si la falla cumple con la ecuación (5.7) donde no es posible asegurar que la falla se haya originado aguas abajo del medidor  $M_2$ , puesto que se debe considerar la posibilidad que la falla se halla originada entre los dos medidores.

### 5.2.3 Fallas ocurridas entre los dos medidores

Cuando la falla ocurre en medio de los medidores  $M_1$  y  $M_2$  pasa un caso especial que no puede relacionarse con la metodología expuesta anteriormente, puesto que para el medidor  $M_1$  la falla es aguas arriba mientras que para el  $M_2$  es una falla localizada aguas abajo. Para este caso se mide la tensión eficaz en el medidor  $M_2$  y se relaciona con el valor de estado estable medido antes que suceda la falla.

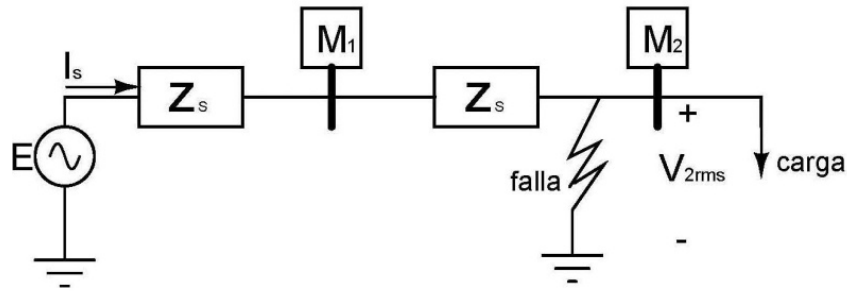


Figura 56. Fallas localizada en medio de los dos medidores.

Cuando la falla sucede entre los dos medidores como se ilustra en la figura 17 se espera que el valor eficaz de la tensión registrada en  $M_2$  durante el hueco disminuya con respecto a la tensión del sistema antes de ocurrido el evento. Si la falla sucede después del medidor  $M_2$  el valor eficaz de la tensión registrado durante el hueco decae pero en un porcentaje muy pequeño en comparación con la tensión del sistema. Con base en esta condición se relaciona el valor eficaz de tensión como un descriptor para la toma de decisión de acuerdo a la localización relativa del hueco de tensión dentro del sistema.

Las fallas originadas entre los dos medidores se pueden identificar con la siguiente relación:

$$\frac{V_{2\text{eficaz -hueco}}}{V_{ss}} < U \quad (5.8) \quad \frac{V_{1-2}^{(+)}}{V_{ss}} > 1 \quad (5.9)$$

Donde  $U$  = umbral de decisión definido por el sistema.

$V_{2\text{eficaz -hueco}}$  = Es la tensión eficaz registrada en el medidor  $M_2$  durante el hueco de tensión

$V_{ss}$  = Tensión de estado estable del sistema.

$V_{1-2}^{(+)}$  = Diferencia de tensión de secuencia positiva registrado entre los dos medidores.

### 5.2.4 Selección de umbrales.

Una vez analizado los descriptores más importantes para la localización relativa de huecos de tensión, se hace un análisis circuital para hallar la relación existente entre cada uno de ellos. Estos descriptores permiten ubicar de manera eficiente



un hueco de tensión, y determinar los umbrales para crear una metodología apropiada con un óptimo funcionamiento.

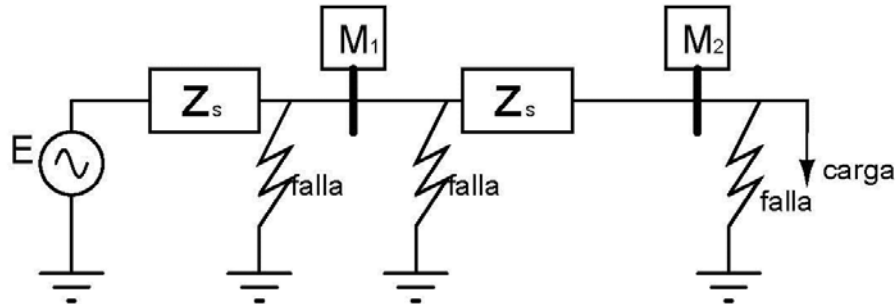


Figura 57. Sistema de potencia implementando dos medidores.

En la Figura 53, se muestra el equivalente de un sistema de potencia donde se colocan dos medidores en puntos estratégicos y se toma la medición del evento durante la ocurrencia de una falla.

Para garantizar medidas más confiables se utilizan dos medidores de tensión, cada medidor proporciona un valor de tensión cuando se presenta un hueco de tensión en el sistema.

### 5.3 ALGORITMO DE DECISIÓN

Después de estudiar y analizar los tres posibles casos de localización relativa del hueco de tensión en el sistema se desarrolla un algoritmo que implemente los tres sucesos con alto grado de confiabilidad y seguridad.

Si la falla es localizada dentro de los dos medidores o después del medidor  $M_2$ , se relaciona la tensión eficaz medida en  $M_2$  con el valor de tensión que tenía el sistema antes de la ocurrencia del evento, y se compara con un umbral de decisión que permita clasificar con eficiencia la localización relativa del hueco.

Si la falla sucede aguas abajo del medidor  $M_1$ , basta con verificar que la tensión de secuencia positiva de los terminales sea menor la tensión de estado estable.

Se puede explicar por el siguiente diagrama de flujo:

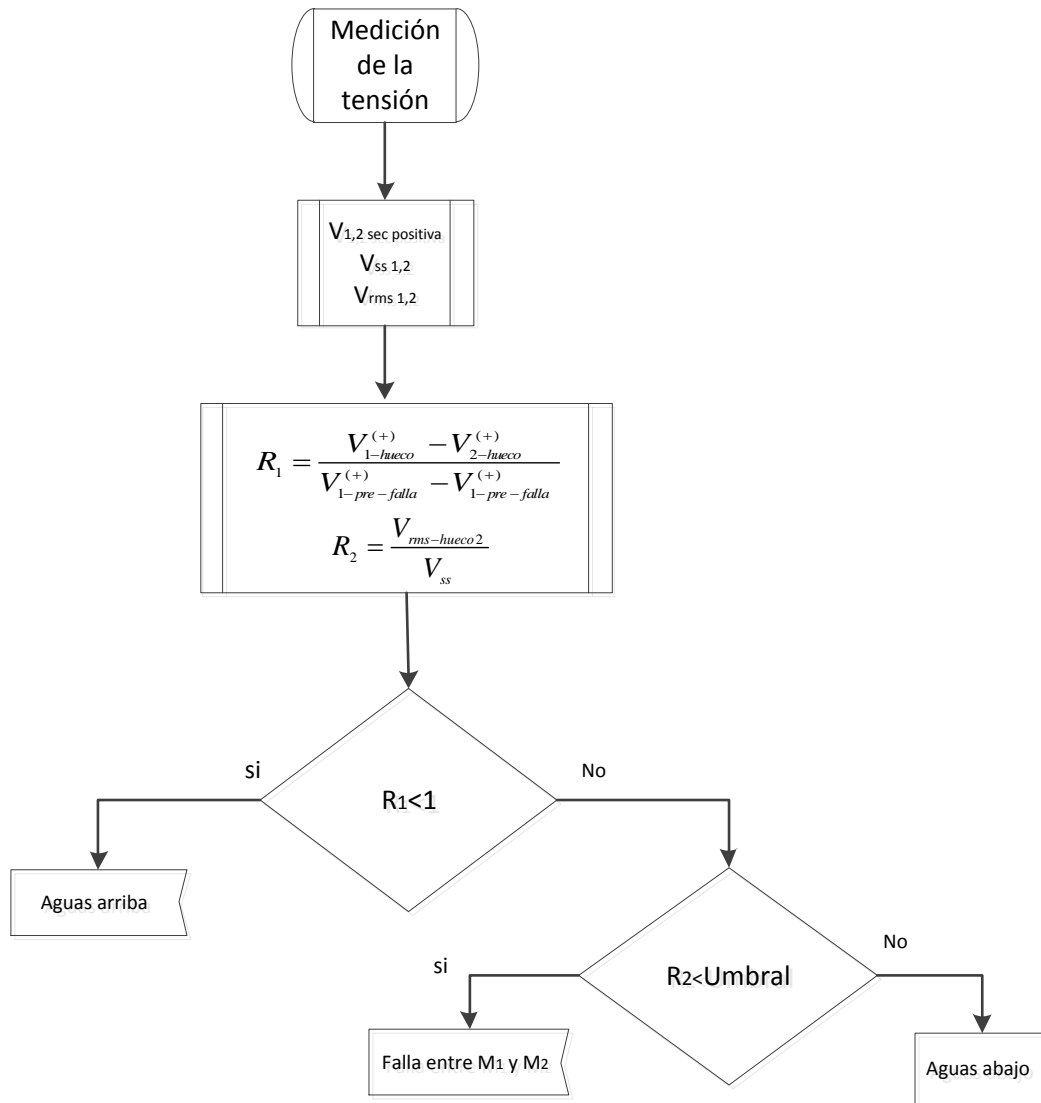


Figura 58. Algoritmo de la nueva metodología solo tensión.

La descripción de este algoritmo tiene dos índices asociados. El primer índice  $R_1$ , asocia la caída de tensión de secuencia positiva registrada por los dos medidores relacionando el valor registrado durante la falla con el valor de prefalla. El índice  $R_2$  relaciona la tensión eficaz registrada en el medidor  $M_2$  durante el hueco de tensión con la tensión de estado estable.

El índice  $R_1$  solo sirve para identificar las fallas originadas aguas arriba, mientras el índice  $R_2$  se compara con un umbral para clasificar las fallas originadas aguas abajo y las generadas entre los dos equipos de medidas. El umbral de decisión depende del sistema a analizar, por eso no se puede generalizar con un valor numérico.



## 6. VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Una vez propuesto el algoritmo para la localización relativa de un hueco de tensión, es importante estimar la eficiencia en su funcionamiento. A continuación se realizan algunas pruebas en un sistema de distribución [12], haciendo diferentes fallas en puntos estratégicos del sistema, tomando solo medidas de tensión registradas en dos monitores ubicados en el sistema.

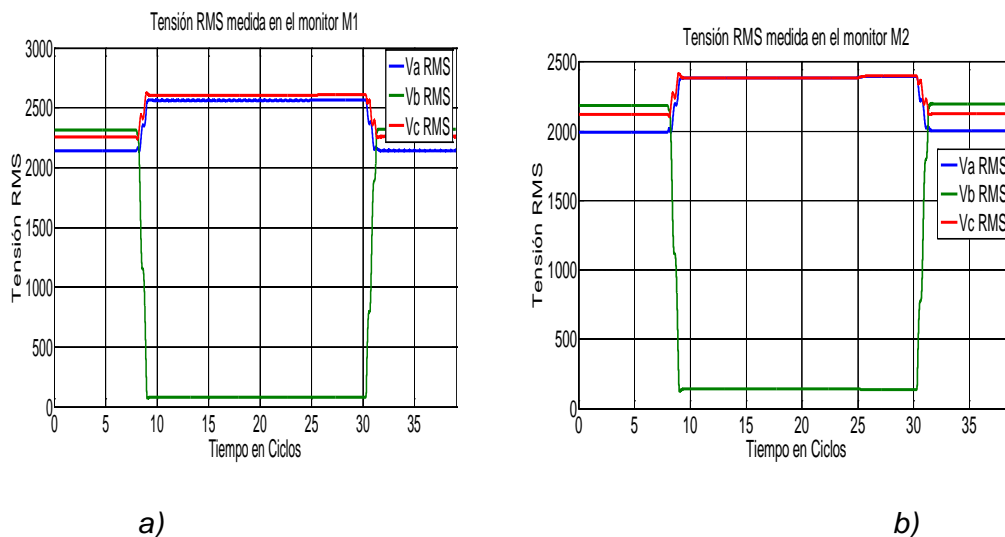
Las pruebas consisten en generar huecos de tensión, extraer los descriptores y evaluarlos en las sentencias de decisión de la metodología (Figura 58). La localización relativa diagnosticada por la metodología se compara con la localización relativa real del hueco.

Finalmente, se hace un análisis de los valores estadísticos para evaluar el desempeño y la eficiencia de la metodología.

### 6.1 PRUEBAS CON HUECOS DE TENSIÓN SIMULADOS AGUAS ARRIBA

A continuación se estudia el caso cuando los dos medidores que registran el evento se encuentran antes de la ocurrencia de la falla y se evalúan las sentencias de decisión con la metodología propuesta y se analizan los resultados.

#### 6.1.1 Hueco de tensión monofásico localizado aguas arriba

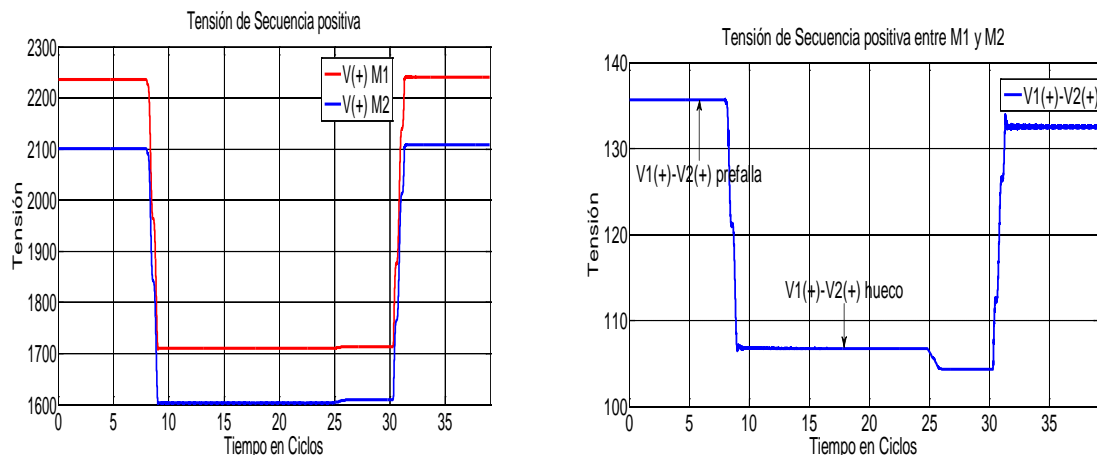


a) *Figura 59. Tensión eficaz vista en los dos monitores*  
 a) Medido desde el monitor  $M_1$  b) Medido desde el monitor  $M_2$



En la Figura 59 a) se observa una falla monofásica en la fase b hecha en el nodo 149 del sistema, Los equipos de medidas  $M_1$  y  $M_2$  se ubican en los nodos 13 y 67 respectivamente. La Figura 59 a) ilustra el comportamiento de la falla registrada en el medidor, mientras la Figura 59 b) muestra el comportamiento del medidor  $M_2$

En el monitor  $M_1$  la fase donde ocurre la falla muestra una disminución del 34%, a su vez cuando se mide la misma falla en el monitor  $M_2$  esta se reduce del 63% del valor nominal de prefalla.



a) b)  
 Figura 60. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición  
 a) Secuencia positiva  $M_1$  y  $M_2$  b) Diferencia de tensión  $V_1- V_2$

Como se observa en la Figura 60 a) la tensión de secuencia positiva leída en el monitor  $M_1$  tiene el mismo comportamiento que la medida en el monitor  $M_2$  con una diferencia de magnitud. Cuando se hace la diferencia fasorial de las dos tensiones como se ilustra en la figura 60 b) se nota que continúan con el mismo comportamiento de la Figura 60 a), donde la magnitud de secuencia positiva de la tensión antes de la falla es mucho mayor que la magnitud de la tensión cuando ocurre el evento,

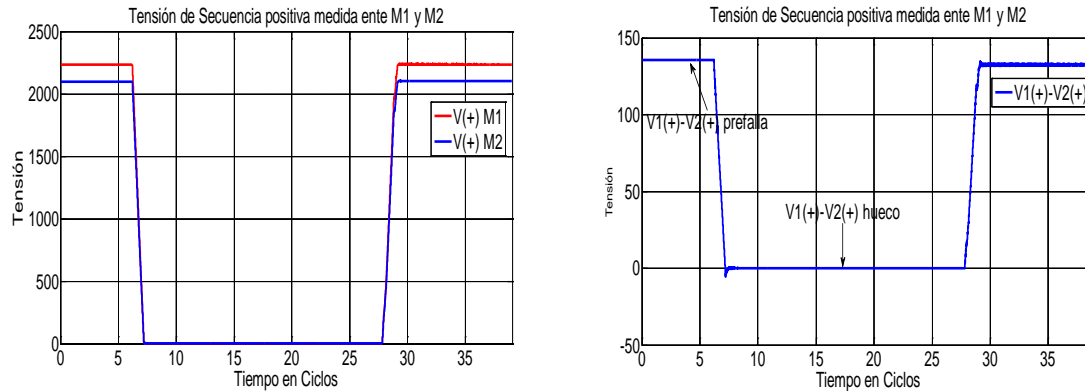
En la gráfica 60 b) se puede ver claramente que  $\frac{V_{1-2}^{(+)} \text{ falla}}{V_{1-2}^{(+)} \text{ prefalla}} < 1$  (6.1) con lo

cual se comprueba la veracidad de la metodología para localización relativa aguas arriba.



### 6.1.2 Hueco de tensión trifásico localizado aguas arriba.

Se genera un hueco trifásico generado en el nodo 149, los medidores  $M_1$  y  $M_2$  se ubican en los nodos 13 y 67 respectivamente. La falla es originada aguas arriba del medidor  $M_1$  y se evalúa utilizando el algoritmo propuesto.



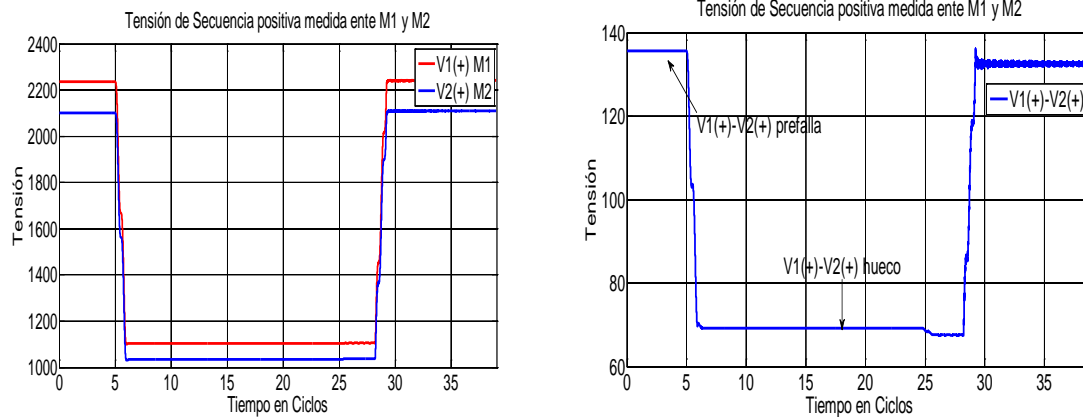
a) b)  
 Figura 61. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición  
 a) Secuencia positiva  $M_1$  y  $M_2$  b) Diferencia de tensión  $V_1 - V_2$

Al igual que en el caso anterior en la Figura 61 b) se aprecia que cumple con la metodología propuesta, la tensión de secuencia positiva de la falla sigue siendo menor que la tensión pre-falla, para este caso se verifica que:

$$\frac{V_{1-2\text{ falla}}^{(+)}}{V_{1-2\text{ prefalla}}^{(+)}} < 1 \quad (6.2)$$

### 6.1.3 Hueco de tensión bifásico localizado aguas arriba.

Siguiendo con la verificación del algoritmo propuesto, se genera una falla bifásica en el nodo 149, los medidores  $M_1$  y  $M_2$  están situados en los nodos 13 y 67 respectivamente y se evalúa de acuerdo a la sentencia de decisión del algoritmo.



a) b)  
 Figura 62. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición  
 a) Secuencia positiva  $M_1$  y  $M_2$  b) Diferencia de tensión  $V_1 - V_2$

Para fallas bifásicas el comportamiento de la tensión de secuencia positiva es el mismo que en las demás tipos de fallas, aunque la diferencia de tensión en los dos medidores es muy pequeña, la tendencia es la misma. Para este tipo de falla el valor de secuencia positiva durante la ocurrencia de la falla es menor que el valor registrado antes de que ocurra el evento. A partir de esto se evidencia el cumplimiento del algoritmo propuesto en la figura 58.

Después de hacer el análisis para algunos tipos de fallas se pudo evidenciar que para fallas bifásicas y trifásicas la diferencia de tensión de secuencia positiva medida entre los monitores  $M_1$  y  $M_2$  es de magnitud muy pequeña en comparación a lo ocurrido cuando la falla es monofásica. A pesar de esta diferencia el comportamiento general de las fallas es idéntico. Para cada uno de los casos propuesto anteriormente se comprueba que para una localización relativa aguas arriba del medidor, la tensión de secuencia positiva donde ocurre la falla es menor comparada con la tensión de pre-falla y con ello se verifica el cumplimiento del algoritmo planteado.

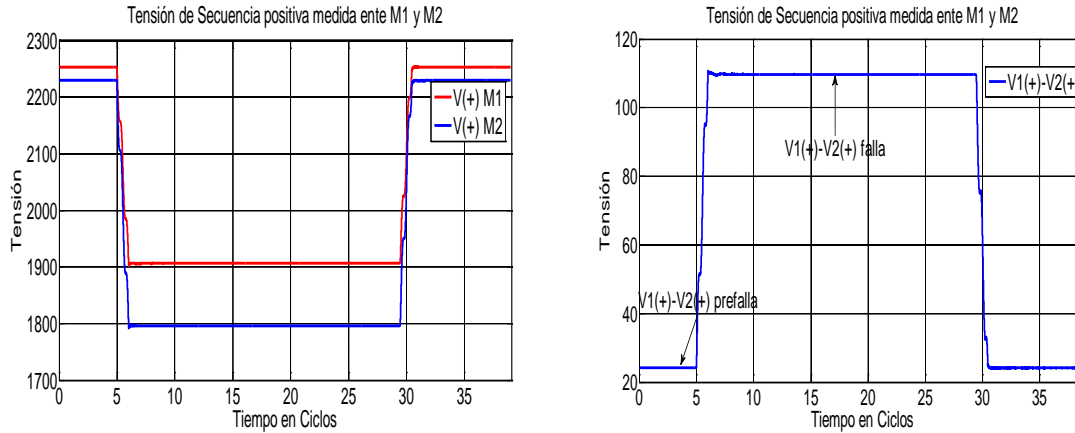
## 6.2 PRUEBAS CON HUECOS DE TENSIÓN SIMULADOS AGUAS ABAJO.

Se consideran unas fallas generadas aguas abajo del medidor y se analizan las sentencias de decisión para evaluar la metodología propuesta.

### 6.2.1 Hueco de tensión monofásico- aguas abajo.

Para evaluar las fallas monofásicas aguas abajo se genera una falla en la fase a, originada en el nodo 53 tomando registro de tensión a través de los medidores  $M_1$  y  $M_2$  en los nodos 13 y 67 respectivamente.

### 6.2.1.1 secuencia positiva de tensión



a)

b)

Figura 63. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición  
 a) Secuencia positiva  $M_1$  y  $M_2$  b) Diferencia de tensión  $V_1 - V_2$

Para fallas monofásicas de la Figura 63 b) se observa claramente que la tensión de secuencia positiva cuando ocurre la falla es mayor a la tensión antes de que ocurriera la falla, verificando lo expuesto en el algoritmo, es decir

$$V_{1-2\text{ falla}}^{(+)} > V_{1-2\text{ prefalla}}^{(+)} \quad (6.3)$$

### 6.2.1.2 Valor eficaz.

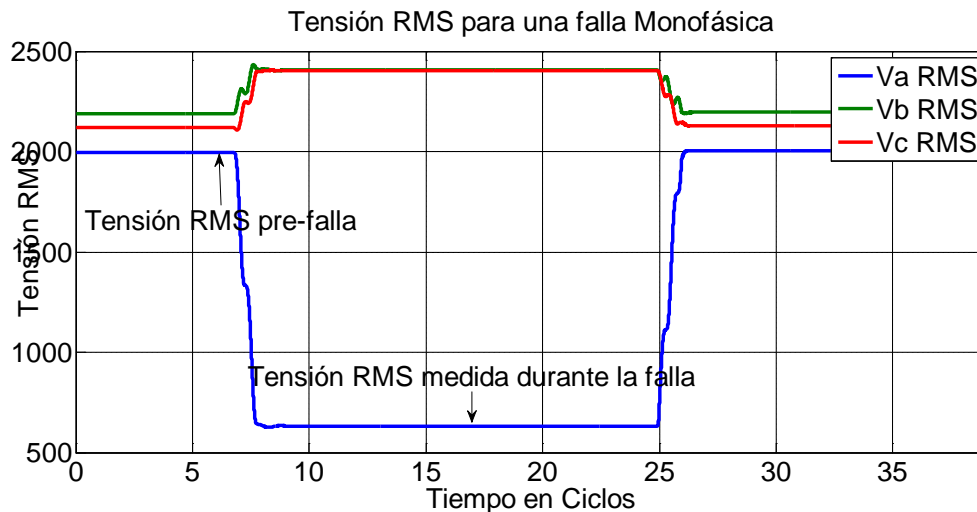


Figura 64. Tensión eficaz medida en el monitor  $M_2$



Ahora se examina la relación que existe entre la tensión eficaz durante la falla y la tensión de estado estable medida en  $M_2$  del sistema. Para medir la tensión eficaz de la falla, se selecciona la tensión de menor magnitud y el punto medio de la duración de la falla, para el valor de prefalla basta con seleccionar una muestra en el primer ciclo. Para este caso

$$\frac{V_{2rms-hueco}}{V_{ss}} = \frac{0.0436}{2.1011} = 0.02075 \quad (6.3)$$

### 6.2.2 Hueco de tensión bifásico localizado aguas abajo.

Para evaluar el comportamiento de las fallas bifásicas aguas abajo se genera un hueco de tensión en el nodo 95 fallando las fases a y b, registrando medidas de tensión en los nodos 13 y 54. A continuación se muestran el análisis hecho a los descriptores.

#### 6.2.2.1 Secuencia positiva de tensión

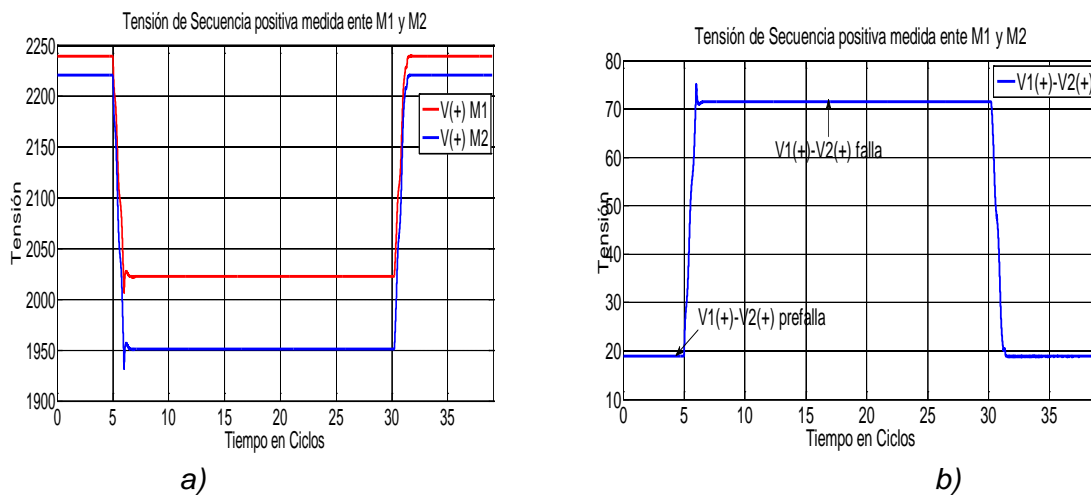


Figura 65. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición  
 a) Secuencia positiva  $M_1$  y  $M_2$  b) Diferencia de tensión  $V_1 - V_2$

En la Figura 65 a) se aprecia que las tensiones de secuencia positiva registrada por cada uno de los dos monitores, durante la ocurrencia del hueco disminuye con relación a la de estado estable. En la figura 65 b) se observa la diferencia de tensión de secuencia positiva vista por los dos medidores, durante la ocurrencia



del hueco, es inferior al valor registrado antes de que sucediera el hueco, es decir  $V_{1-2}^{(+)}_{\text{hueco}} > V_{1-2}^{(+)}_{\text{prefalla}}$

Del análisis anterior se verifica que el índice calculado para la falla cumple la relación que se estableció en el algoritmo:

$$\frac{V_{1-2\text{falla}}^{(+)}}{V_{1-2\text{prefalla}}^{(+)}} > 1 \quad (6.4)$$

### 6.2.2.2 Valor eficaz

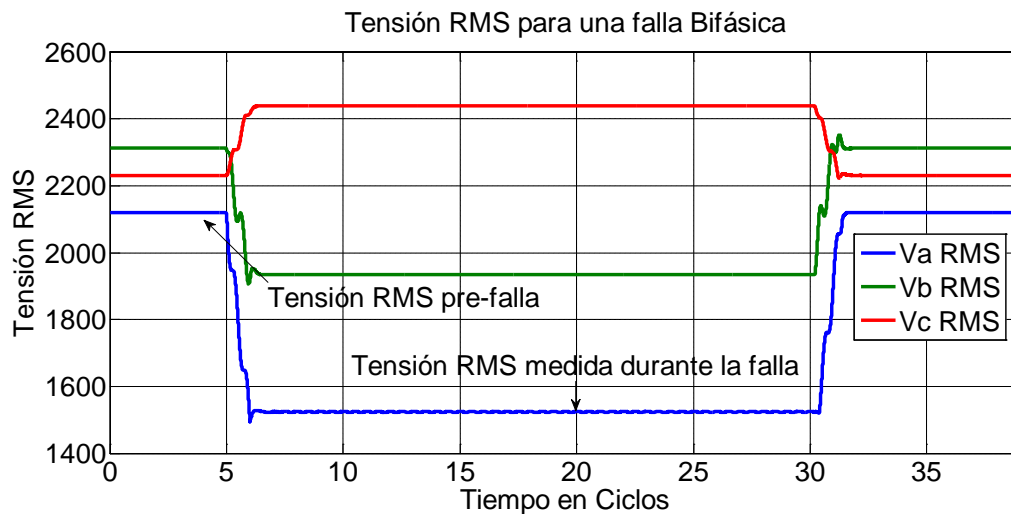


Figura 66. Tensión eficaz medida en el monitor  $M_2$

Como se aprecia en la Figura 66, no siempre la fase que muestra el valor mínimo de tensión durante el hueco es la misma fase que da el valor mínimo en la prefalla. Para este caso la tensión mínima de prefalla es la fase a, mientras la tensión mínima durante la ocurrencia del hueco es la fase b.

Se calcula la tensión eficaz medida en el monitor  $M_2$  y se evalúa lo propuesto en el algoritmo.

$$\frac{V_{2rms-hueco}}{V_{ss}} = \frac{278.7613}{2239.8} = 0,12445 \quad (6.5)$$

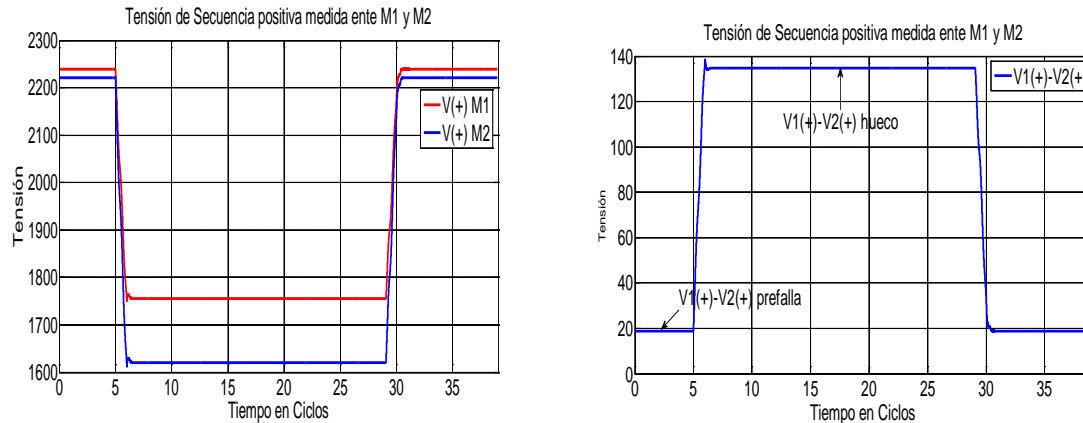
A partir de esta relación se puede establecer un umbral de decisión para detectar una localización relativa del hueco de tensión.

### 6.2.3 Hueco de tensión trifásico localizado aguas abajo



Se genera una falla trifásica en el nodo 93 registrando tensiones en los medidores  $M_1$  y  $M_2$  ubicados en los nodos 13 y 54 respectivamente. A continuación se hace un estudio de esta falla, evaluando cado uno de los descriptores propuesto.

### 6.2.3.1 Secuencia positiva de tensión



a) b)  
 Figura 67. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición  
 a) Secuencia positiva  $M_1$  y  $M_2$  b) Diferencia de tensión  $V_1 - V_2$

Claramente se observar en la Figura 67 b), que la diferencia de las tensiones secuencia positiva medidas en  $M_1$  y  $M_2$  durante el hueco es mayor que la que mide en pre-falla, es decir:

$$\frac{V_{1-2\ falla}^{(+)}}{V_{1-2\ hueco}^{(+)}} > 1 \quad (6.6)$$

En la figura 67 a) se observa que la tensión de secuencia positiva registrada por cada medidor durante la ocurrencia del hueco es menor a la tensión registrada antes de la falla.

### 6.2.3.2 Valor eficaz

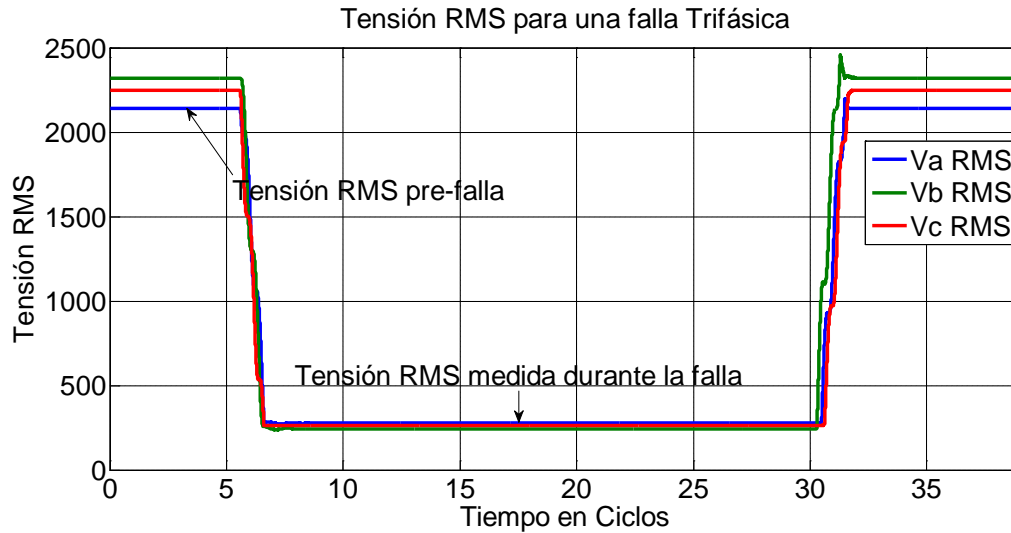


Figura 68. Tensión eficaz medida en el monitor  $M_2$

Haciendo el análisis para la tensión eficaz medida en  $M_2$  se determina la sentencia propuesta en el algoritmo, para esta falla trifásica se obtiene el siguiente resultado:

$$\frac{V_{2rms-hueco}}{V_{ss}} = \frac{276.4058}{2239.8} = 0,1234 \quad (6.7)$$

Con el valor obtenido anteriormente se completa una base de datos para determinar el umbral indicado para diferenciar en que parte del sistema se ubica la falla, todos estos valores se calculan y se muestran en el anexo B1.

## 6.3 PRUEBAS CON HUECOS DE TENSIÓN SIMULADOS ENTRE LOS DOS MEDIDORES.

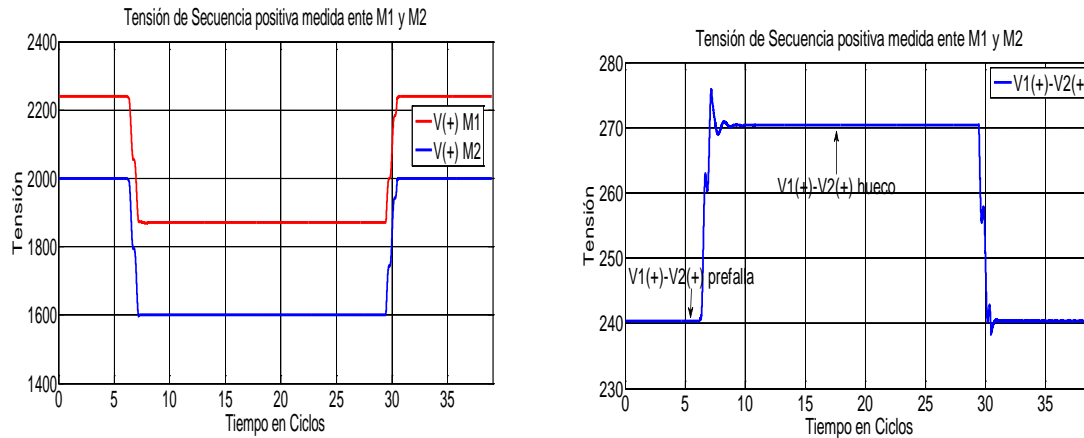
Ahora se generan unos huecos de tensión originados en medio de los dos medidores, se analizan y se evalúan los descriptores con la metodología expuesta.

### 6.3.1 Hueco de Tensión Monofásico localizado entre los dos medidores.

Se genera una falla monofásica en el nodo 54, fallando la fase a y registrando solo tensión en los medidores  $M_1$  y  $M_2$  colocados en los nodos 152 y 67 respectivamente.



### 6.3.1.1 Secuencia positiva de tensión



a) b)  
 Figura 69. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición  
 a) Secuencia positiva  $M_1$  y  $M_2$  b) Diferencia de tensión  $V_1 - V_2$

En la figura 69 a) se muestra la secuencia positiva registrada en cada uno de los medidores. Cuando se presenta el evento, la tensión de secuencia positiva experimenta una disminución de magnitud, aunque después de ocurrido el evento, la tensión regresa a su valor nominal.

En la figura 69 a) se observa que la tensión registrada en el monitor  $M_1$  es mayor a la leída en el monitor  $M_2$  durante el hueco. Cuando se hace la diferencia fasorial de secuencia positiva vista por los dos medidores, como se muestra en la figura 69 b), se observa que la magnitud de la tensión durante la falla es mayor a la registrada antes de que ocurriera el evento. Por lo anterior sucede lo mismo cuando la falla es aguas abajo del equipo de medida. La relación de tensión de secuencia positiva no fue relevante para diagnosticar una localización relativa del hueco, cuando este se genere aguas abajo o se encuentre entre los dos medidores, por lo tanto se hace un análisis con la tensión eficaz.



### 6.3.1.2 Valor eficaz

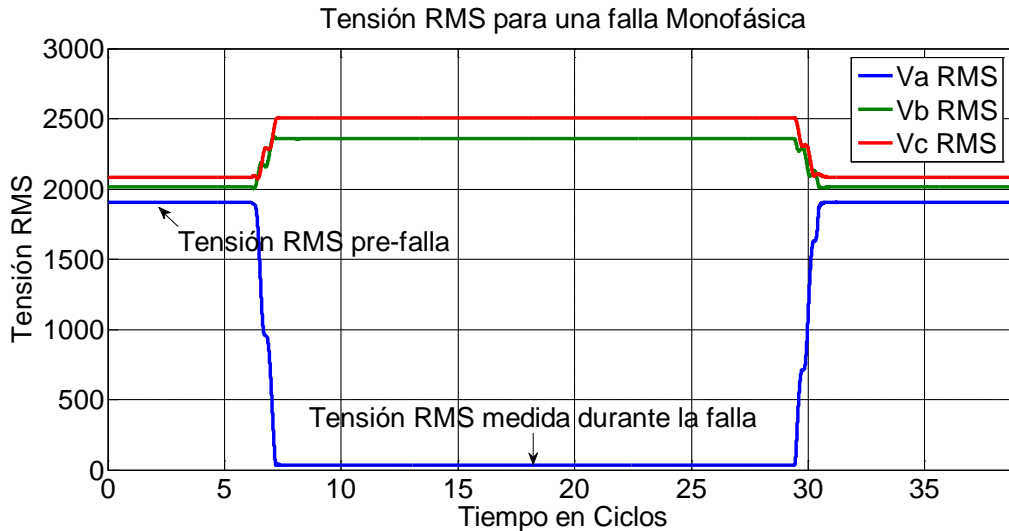


Figura 70. Tensión eficaz medida en el monitor  $M_2$

Se calcula le tensión eficaz a partir de la tensión registrada en  $M_2$ , se escoge la tensión de menor magnitud durante el hueco que será la tensión eficaz durante la falla, y este valor se divide entre el valor de tensión de estado estable para hallar un umbral de decisión.

Para este tipo de falla la relación es:

$$\frac{V_{2rms-hueco}}{V_{ss}} = \frac{39.2135}{2239.8} = 0,01961 \quad (6.8)$$

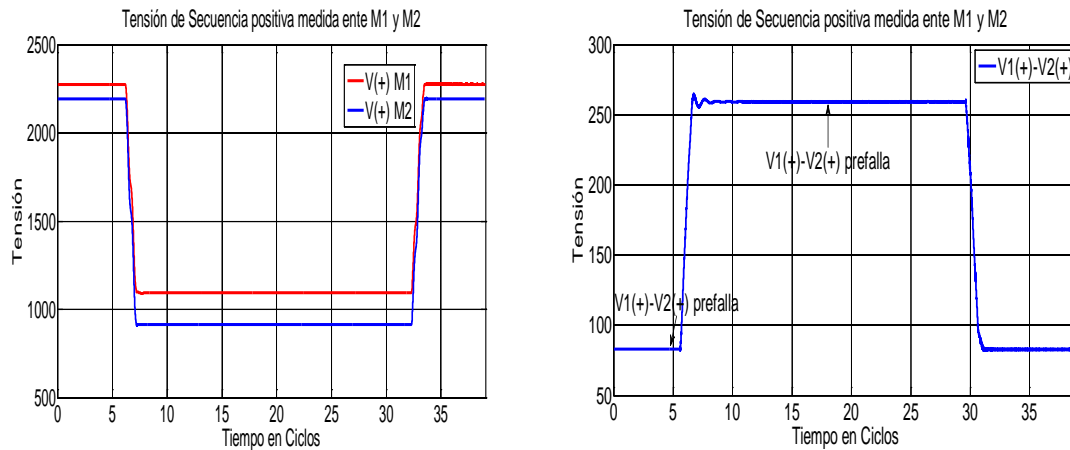
Este valor es almacenando en una base de datos para luego establecer el valor del umbral de decisión que permita estimar una localización relativa del hueco de tensión.

### 6.3.2 Hueco de tensión bifásico localizado entre los dos medidores.

Para estudiar el comportamiento de los huecos de tensión bifásicos, se genera una falla bifásica en el nodo 7, fallando las fases a y b, se toman registro de tensión en los nodos 7 y 60 del sistema y se procesa los resultados con el algoritmo propuesto.

#### 6.3.2.1 Secuencia Positiva de tensión

Al igual que las otras fallas analizadas para este tipo se calculan las tensiones de secuencia positiva medida por cada monitor, y después se calcula la tensión de secuencia positiva vista entre los dos medidores.



a) b)  
 Figura 71. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición  
 a) Secuencia positiva  $M_1$  y  $M_2$  b) Diferencia de tensión  $V_1 - V_2$

Como se ilustra en la Figura 71 b), la tensión de secuencia positiva medida entre  $M_1$  y  $M_2$  durante la falla es mayor que la secuencia positiva antes de que ocurriera la falla, por ello sigue cumpliendo la relación:

$$\frac{V_{1-2\text{ falla}}^{(+)}}{V_{1-2\text{ prefalla}}^{(+)}} > 1 \quad (6.9)$$

### 6.3.2.2 Valor eficaz

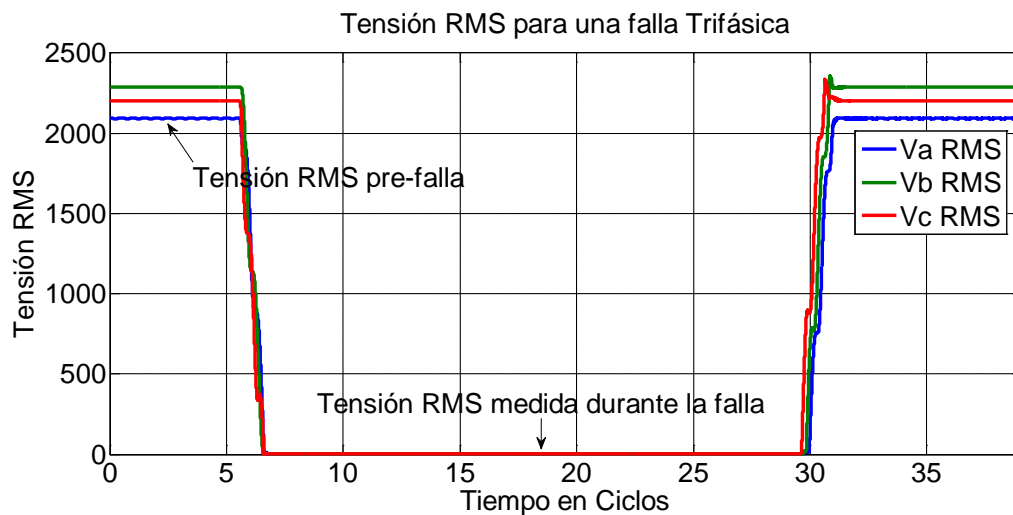


Figura 72. Tensión eficaz medida en el monitor  $M_2$



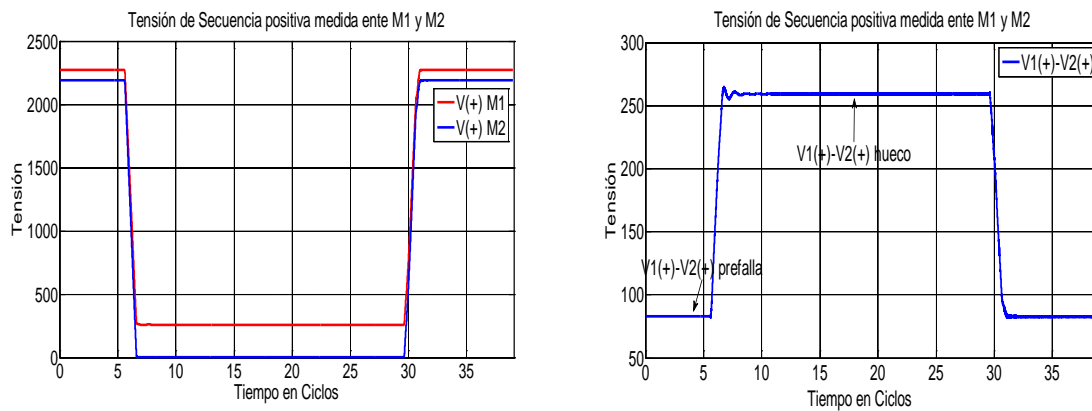
Se calcula la relación que existe entre la tensión eficaz registrada en  $M_2$  con la tensión en estado estable, esa relación es procesada para encontrar el umbral de decisión.

$$\frac{V_{2rms-hueco}}{V_{ss}} = 0,08544 \quad (6.10)$$

### 6.3.3 Hueco de tensión trifásico localizado entre los dos medidores.

Se genera una falla trifásica en el nodo 7, registrando valores de tensión en los nodos 1 y 60 con los medidores  $M_1$  y  $M_2$  respectivamente.

#### 6.3.3.1 Secuencia positiva de tensión



a) b)  
 Figura 73. Tensión de secuencia positiva en los dos puntos de medición  
 a) Secuencia positiva  $M_1$  y  $M_2$  b) Diferencia de tensión  $V_1 - V_2$

Para la falla trifásica la tendencia fue similar a la monofásica y la bifásica, según lo mostrado en la figura 73 b) se comprueba claramente que cumple la relación:

$$\frac{V_{1-2\ falla}^{(+)}}{V_{1-2\ pre-falla}^{(+)}} > 1 \quad (6.11)$$



### 6.3.3.2 Valor eficaz

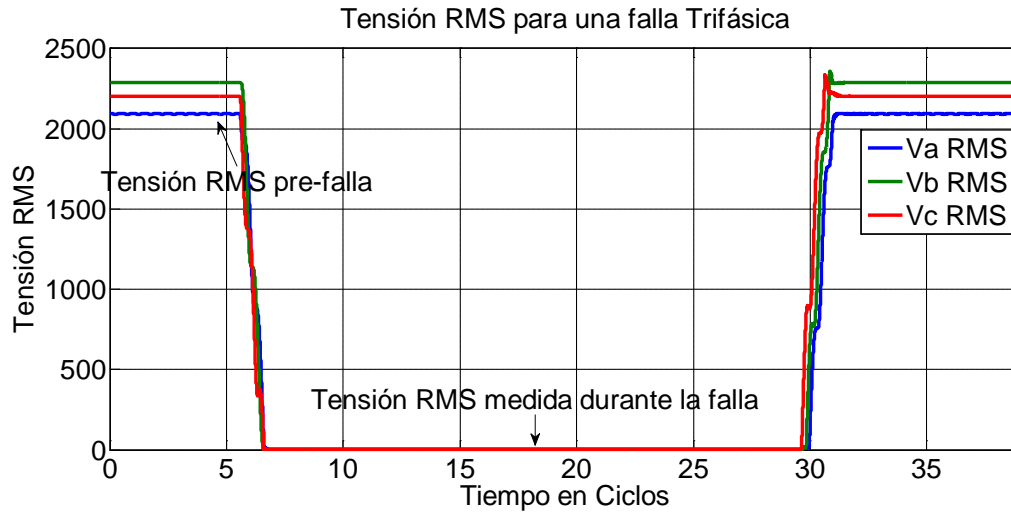


Figura 74. Tensión eficaz medida en el monitor  $M_2$

Se calcula la tensión eficaz registrada por el monitor  $M_2$  y se relaciona los valores de falla y prefalla de acuerdo la Figura 74 b), se hace el mismo análisis de los tipos de fallas anteriores,

Para este caso de falla trifásica la relación de la tensión eficaz con la de estado estable fue la siguiente:

$$\frac{V_{2rms-hueco}}{V_{ss}} = 0,00026 \quad (6.12)$$

### 6.4 SELECCIÓN DE UMBRALES Y ALGORITMO DE DECISIÓN.

Después de analizar los tipos de fallas para cada una de las tres ubicaciones (aguas arriba, aguas abajo y fallas entres los dos medidores), se evalúa la metodología propuesta en el capítulo 5 para estimar el grado de eficiencia.

Para las fallas localizadas aguas abajo del segundo medidor  $M_2$  y para las fallas localizadas en medio de los dos medidores ( $M_1$  y  $M_2$ ) se creó una base de datos a partir de la relación existente entre la tensión eficaz registrada durante el hueco con la tensión de estado estable de todas las fallas procesadas. Después de creada la base de datos se optimiza todos estos valores de acuerdo a la localización real de la falla, con la ayuda de la aplicación CN2 se calcula ese umbral; dando un patrón confiable a la hora de hacer una localización relativa de los huecos de tensión.



## 6.5 RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos de evaluar la metodología propuesta con las fallas sintéticas generadas.

$$R_1 = \frac{V_1^{(+)} - V_2^{(+)}_{falla}}{V_1^{(+)} - V_2^{(+)}_{pre-falla}} \qquad R_2 = \frac{V_{2-rms\ falla}}{V_{ss}}$$

*Tabla V. Análisis de resultados de la nueva metodología*

Número	Ubicación Real	Tipo	R1	R2	Ubicación Según Algoritmo
1	arriba	Monofásica tierra	0,786913704	1,13477799	arriba
2	arriba	Monofásica línea	0,421212677	0,04047863	arriba
3	arriba	Bifásica línea	0,509778348	0,94847445	arriba
4	arriba	Trifásica tierra	0,000328519	0,00037918	arriba
5	arriba	Trifásica tierra	0,761489249	0,03485297	arriba
6	arriba	Trifásica tierra	0,001151411	0,00032024	arriba
7	arriba	Bifásica línea	0,441468602	0,01966767	arriba
8	arriba	bifásica tierra	0,768554811	0,02602065	arriba
9	arriba	bifásica tierra	0,76992886	0,02001826	arriba
10	arriba	bifásica tierra	0,441088802	0,01511779	arriba
11	arriba	trifásica línea	0,000315882	0,00029637	arriba
12	abajo	Monofásica tierra	1,868682164	0,48540209	abajo
13	abajo	bifásica tierra	4,145176858	0,10982374	abajo
14	abajo	bifásica tierra	4,24900981	0,05455604	abajo
15	abajo	trifásica línea	5,56469875	0,22670647	abajo
16	abajo	Monofásica tierra	0,833046209	0,3004793	arriba
17	abajo	Monofásica tierra	0,999320697	0,94957454	arriba
18	abajo	trifásica línea	7,025833122	0,651118	abajo
19	abajo	bifásica tierra	3,790405389	0,68607081	abajo
20	abajo	Monofásica tierra	2,453895228	0,65799661	abajo
21	abajo	Monofásica tierra	2,503002299	0,64834604	abajo
22	abajo	bifásica tierra	3,841843665	0,67663594	abajo
23	abajo	trifásica línea	7,143760716	0,64424403	abajo
24	abajo	bifásica tierra	8,454029947	0,12445793	abajo
25	abajo	Monofásica tierra	3,761497097	0,12645195	abajo
26	abajo	trifásica línea	14,19585871	0,12340627	abajo
27	abajo	trifásica línea	17,96283903	0,05847876	M1 y M2



28	abajo	bifásica tierra	10,60584157	0,05897243	abajo
29	abajo	Monofásica tierra	4,549904949	0,05977932	abajo
30	M1 y M2	trifásica línea	1,340751817	0,02076109	M1 y M2
31	M1 y M2	trifásica línea	1,540487275	0,00020805	M1 y M2
32	M1 y M2	bifásica tierra	1,163088326	0,01658352	M1 y M2
33	M1 y M2	Monofásica tierra	1,070050078	0,01961255	M1 y M2
34	M1 y M2	Monofásica tierra	1,124636468	0,01803645	M1 y M2
35	M1 y M2	bifásica tierra	1,311865072	0,01539188	M1 y M2
36	M1 y M2	trifásica línea	1,80199392	0,00019958	M1 y M2
37	M1 y M2	trifásica línea	0,865925806	0,00024327	arriba
38	M1 y M2	bifásica tierra	0,786611106	0,02209867	arriba
39	M1 y M2	Monofásica tierra	0,928185351	0,02699383	arriba
40	M1 y M2	Monofásica tierra	3,481126111	0,00977084	M1 y M2
41	M1 y M2	bifásica tierra	7,761789946	0,0084796	M1 y M2
42	M1 y M2	trifásica línea	12,71516105	0,00018566	M1 y M2
43	M1 y M2	trifásica línea	9,683372683	0,07191644	M1 y M2
44	M1 y M2	bifásica tierra	5,938265003	0,0854413	M1 y M2
45	M1 y M2	Monofásica tierra	2,770667287	0,08715976	M1 y M2
46	M1 y M2	Monofásica tierra	1,425765316	0,03369453	M1 y M2
47	M1 y M2	bifásica tierra	2,190180059	0,02674189	M1 y M2
48	M1 y M2	trifásica línea	3,132159034	0,00028528	M1 y M2
49	M1 y M2	trifásica línea	4,874215957	0,00026985	M1 y M2
50	M1 y M2	bifásica tierra	3,172630849	0,02368873	M1 y M2
51	M1 y M2	bifásica tierra	7,89477051	0,00847977	M1 y M2
52	M1 y M2	Monofásica tierra	3,52807411	0,00977196	M1 y M2
53	M1 y M2	Monofásica tierra	4,387510959	0,00162847	M1 y M2
54	M1 y M2	bifásica tierra	10,15282562	0,00138755	M1 y M2

Como se observa en la Tabla V, el índice  $R_1$  es menor que uno para todas las fallas localizadas aguas arriba, sin embargo para algunas fallas localizada aguas abajo se presenta el mismo comportamiento. Por consiguiente no se puede implementar el algoritmo propuesto en la Figura 58, esto se debe a la lejanía existente entre los equipos de medidas y la ocurrencia de la falla. Si la falla es originada aguas abajo o en medio de los dos medidores se diferencia por la relación existente en el índice  $R_2$ .

Para hallar el umbral y el algoritmo de decisión que diferencie si la falla es localizada aguas abajo o en medio de los dos medidores, se exportan los valores



de los índices  $R_1$  y  $R_2$  a una herramienta conocida como *CN2*, para que optimice los datos y genere una sentencia confiable.

La sentencia creada por *CN2* es visualizada en el algoritmo mostrado en la Figura 75, este algoritmo tiene bastante similitud con el propuesto en la Figura 58. No se puede establecer eficiencia para esta metodología por que solo se tiene una base de prueba, y no existe otro punto de comparación

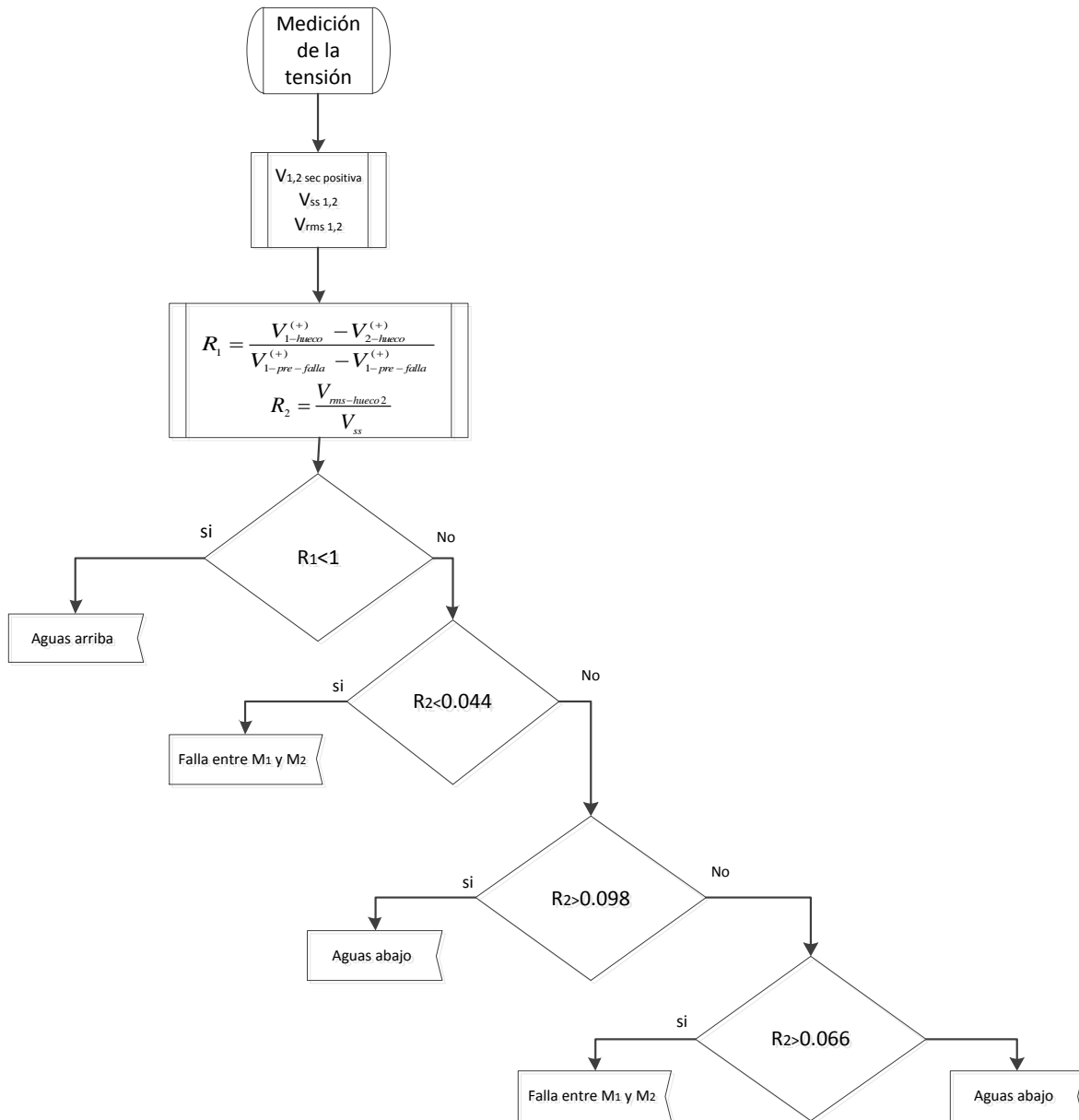


Figura 75. Algoritmo desarrollado en el sistema de prueba [12].

Los valores de  $R_2$  son el resultado de la optimización de datos, aplicando esta sentencia en el sistema [12] se obtiene una eficiencia del 100%



## 6.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA NUEVA METODOLOGÍA

### 6.6.1 Ventajas

- La principal ventaja de este método es que se basa en medidas de solo tensión para una localización relativa de huecos de tensión, considerando que en muchas ocasiones no se disponen equipos o es muy complicado medir corrientes en los sistemas de distribución.
- La implementación de dos medidores brinda confiabilidad y seguridad en la toma de registros de tensión, puesto que cada empresa tanto la de transmisión como la de distribución pueden disponer de su propio equipo de medición.
- Después de implementar la metodología y calcular los índices, el algoritmo de decisión es fácil de entender y analizar por parte del usuario.

### 6.6.2 Desventajas

- Esta metodología no es aplicable a sistema donde se disponga de un solo equipo de medición de tensión, en muchos casos donde por economía o sencillez solo se registran los huecos de tensión por un medidor no se puede hacer el análisis explicado en esta metodología.
- El procesamiento de datos de esta metodología exige equipos con gran capacidad de memoria cuando se calcula la tensión de secuencia positiva y se obtienen los valores eficaces.
- Para ejecutar esta metodología en un sistema diferente se debe analizar todo el sistema para estimar el umbral de decisión, y después implementar el algoritmo propuesto.



## 7. CONCLUSIONES

- Se desarrollan una serie de algoritmos que permiten localizar automáticamente las fallas en el sistema de energía eléctrica mediante una herramienta computacional.
- Para generar los huecos sintéticos se simuló en ATPDraw el sistema de distribución propuesto “*IEEE 123 Node Test Feeder*”, y se probó mediante simulaciones que los valores de tensión y corriente sean lo mismo del que se proponen en el artículo de la IEEE, con esto se garantiza la veracidad de la base de datos tomada para las pruebas de los algoritmos.
- Cuando se trabaja con las metodologías anteriormente planteadas para la localización relativa de huecos de tensión se corrobora que existe una relación que permite cuantificar cada uno de los tipos de fallas para así poder desarrollar una relación que permite tener un resultado favorable.
- Con base en la tensión de secuencia positiva registrada por el medidor en los tipo de falla localizada aguas arriba y aguas abajo, se recopila gran información que permite desarrollar cierto tipos de descriptores para garantizar el correcto desempeño de nuestro algoritmo y por ende nuestra metodología.
- En materia de calidad de energía los huecos de tensión no son tan perjudiciales para la industria como las interrupciones. Sin embargo debido a que ocurren con mayor frecuencia, las pérdidas económicas debidas a ellos pueden ser mayores que las causadas por las interrupciones.
- El método de localización relativa de huecos de tensión a partir de medidas de tensión y corriente no fue eficiente debido a que existe un algoritmo para cada causa y no se puede generalizar independientemente de la causa que lo origine.
- El método de localización relativa de huecos a partir de la medición de tensión en los lados primario y secundario de un transformador fue muy eficiente pero no se puede optar este método como una herramienta viable puesto que no siempre se va a disponer con la medida de tensión en los lados de un transformador, e incluso muchos sistemas con transformadores no disponen la medida de los dos devanados.
- Se implementó una metodología para la localización relativa de huecos de tensión registrando solo valores de tensión. Para desarrollar esta técnica se utilizaron una base de datos compuesta por 100 fallas sintéticas generada a lo largo del sistema de distribución. Estas fallas fueron la bases de prueba para desarrollar el algoritmo de la metodología, como la nueva metodología



utilizan los registros de dos medidores no se puede verificar con la base de datos reales de ENDESA, por lo tanto no se estima una eficiencia en la nueva metodología propuesta. Sin embargo gracias a los estudios hechos durante el desarrollo del proyecto, se puede decir que la metodología propuesta presenta muchos aciertos y será muy útil para trabajos posteriores.

- El método de localización relativa de huecos de tensión basada en medida de solo tensión cuenta con la ventaja que únicamente se fundamenta en medidas de tensión para una localización relativa, considerando que en muchas ocasiones no se disponen equipos o es muy complicado medir corrientes en los sistemas de distribución.
- La implementación de dos medidores brinda confiabilidad y seguridad en la toma de registros de tensión, puesto que las empresas tanto la de transmisión como la de distribución pueden disponer de su propio equipo de medición.
- La nueva metodología propuesta no es aplicable a sistema donde solo se disponga un solo equipo de medición de tensión, en muchos casos donde por economía o sencillez solo se registran los huecos de tensión por un medidor no se puede hacer el análisis explicado en esta metodología.
- Cuando se evalúa la nueva tecnología con la base de datos del sistema de prueba se presentan unos errores en relación al algoritmo propuesto, las causas de estos errores se deben a la gran distancia existente entre la generación de la falla y los equipos de medidas.
- Al culminar la investigación se hace la caracterización de los descriptores que ayudaran a diferenciar localización relativa de los huecos de tensión en el sistema de distribución de energía eléctrica.
- El desarrollo de una nueva metodología para localización relativa de huecos de tensión permite a las empresas de transmisión y distribución de energía eléctrica asumir responsabilidades por la ocurrencia de perturbaciones en los sistemas eléctricos.
- La localización relativa de huecos de tensión ayuda a que las empresas prestadoras de servicios implementen nuevas metodologías para disminuir estas perturbaciones en la red, de esta manera garantiza al usuario final una buena calidad en el suministro de la energía eléctrica.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] BARRERA N Victor, MELENDEZ F J. "A New Sag Source Relative Location Algorithm Based On The Sequence Current Magnitude". SICEL 2009 – V International Symposium on Power Quality, August 4-6, Bogota, Colombia
- [2] SEON-Ju Ahn , DONG-JUN Won, D-Yop Chung y Seung-U Moon. "Determination of the Relative Location of Voltage Sag Source According to Event Cause". IEEE, Power Engineering Society G.M, vol.1, pp. 620-625, June 2004.
- [3] KIM K, PARK J., LEE J., S. Ahn y S. Moon. "A Method to Determine the Relative Location of Voltage Sag Source for PQ Diagnosis". IEEE. Seoul National University, Korea. Págs. 2192-2197.
- [4] LEBORGNE R. Chouhy, KARLSSON D. "Voltage Sag Source Location Based on Voltage Measurements Only") federal University of Rio Grande do Sul, Brazil,) Gothia Power AB – Sweden, Electrical Power Quality and Utilisation, Journal Vol. XIV, Nº 1, 2008.
- [5] BLANCO J. y JAGUA J. Metodología para el diagnostico de la causa de huecos de tensión: Análisis de fallas, "Tesis de pregrado de la Universidad Industrial de Santander, 2009, norma IEEE1159, norma IEC 61000-4.
- [6] C. CASTELLANOS, Carolina., CARRILLO F. Luz., "Caracterización de huecos de tensión", Tesis de pregrado de la Universidad Industrial de Santander, 2003, norma IEEE1159.
- [7] GRAINGER, John J. y STEVENSON, William D. "Análisis de Sistemas de Potencia". Editorial Mc Graw Hill, 2002.
- [8] GURU, B., HUSEYING R., "Maquinas eléctricas y transformadores", tercera edición, 2003.
- [9] MORA, Juan José y MELÉNDEZ, Joaquim "Caracterización de huecos de tensión para localización relativa de fallas en sistemas de distribución - un primer paso hacia un método híbrido" norma IEEE1159, norma IEC 61000-4.



[10] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 5000. “Calidad de la Potencia Eléctrica (CPE). Definiciones y Términos Fundamentales”. Instituto Colombiano de Normas Técnicas (INCONTEC), 2002.

[11] ROJAS E, César y MARTÍNEZ G, Juan. “Localización de Fallas: Clasificación de Huecos de Tensión en Sistemas de Distribución utilizando la Técnica Lamba”. Tesis de Pregrado de Ingeniería Eléctrica, Universidad Industrial de Santander, 2006.

[12] IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY, Power System Analysis, Computing and Economics Committee. Distribution System Analysis Subcommittee, “IEEE 123 Node Test Feeder”.



## ANEXOS

### A. BASES DE DATOS

Para poder llevar a cabo la formulación de descriptores se tiene que tener en cuenta los registros utilizados y su caracterización, la base de datos utilizada para el desarrollo el análisis de los huecos de tensión, involucra herramientas computacionales de formación académica tales como MATLAB que permite desarrollar una serie de algoritmos que facilitan el análisis.

La empresa de distribución española ENDESA hace un aporte importante suministrando una base de datos de algunas fallas asociadas a la red, correspondiendo generalmente a energización de algunos transformadores. Mediante ATPDraw se crean registros adicionales correspondientes a arranque de motores de inducción y energización de bancos de capacitores.

#### A.1 Base de datos de ENDESA

La base de datos suministrada por ENDESA está conformada por 450 huecos de tensión de 10 subestaciones de 25 kV, de los cuales 307 son ubicados aguas arriba y 143 ubicados aguas abajo. Se hacen con un muestreo de 128 muestras. Se presentan cinco tipos de fallas: monofásicas, bifásica, trifásicas, multiestados y energización de transformadores.

#### A.2 Datos obtenidos mediante la simulación

Con el fin de afianzar la metodología propuesta diseñamos un sistema de distribución, sobre el cual realizaremos una serie de fallas, las cuales están constituidas por los diferentes tipos de huecos de tensión tales como arranque de motores, energización de banco de condensadores y fallas en la red.

Para evaluar los descriptores mencionados en el capítulo anterior se utiliza el sistema "IEEE 123 Node Test Feeder", este esquema se implementó en ATP DRAW, se hace varias pruebas comprobando que el flujo de potencia era el correcto. El siguiente paso es determinar varios puntos críticos del sistema para implementar un medidor, los nodos escogidos son los que presentan bastantes bifurcaciones, con esto se asegura una evaluación más detallada del sistema cuando ocurre una falla.

Se utilizan fallas asimétricas conformadas por corto circuitos asimétricos y fallas a través de impedancia o con conductores abiertos. Los tipos de fallas utilizados en



el análisis de esta temática son: Línea a tierra (L-T), línea a línea (L-L), doble línea a tierra (2L-T), trifásica (3L), trifásica a tierra (3L-T), todas estas se describen con impedancia de fallas  $Z$ .

Utilizando un sistema de distribución de 123 nodos, con un nivel de tensión nominal de 4.16 kV. Se constituye por cargas des balanceadas y cargas balanceadas. Para la simulación de este sistema se utiliza el ATPDraw que permite realizar fallas en la red que serán utilizadas en los descriptores encargados de diagnosticar la localización relativa de las fallas, teniendo en cuenta si fue generada aguas arriba o aguas abajo del medidor.

La Figura 76 se muestra el diagrama topológico del sistema y, en la Figura 77 un segmento del esquemático hecho en ATPDraw.

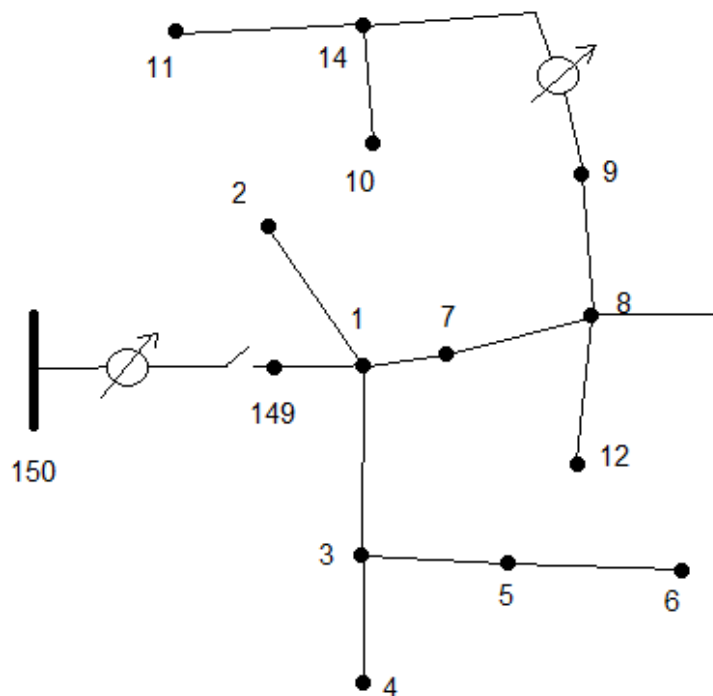


Figura 76. Diagrama topológico del sistema.

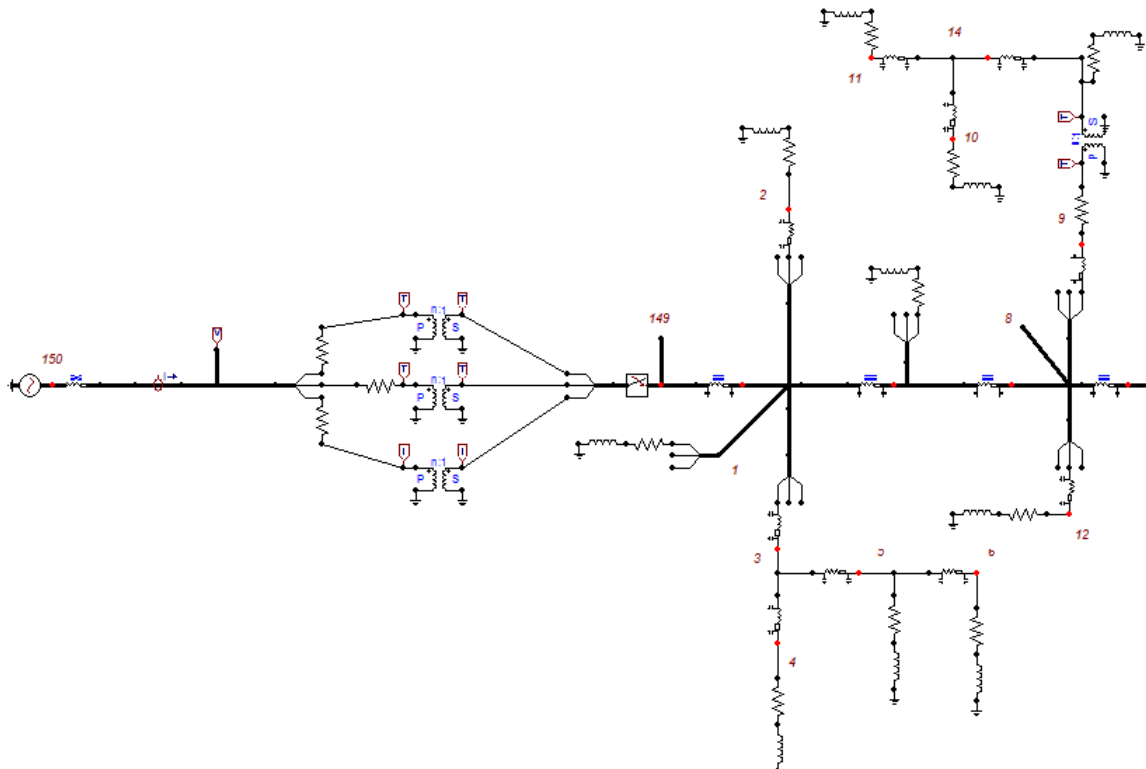


Figura A1. Segmento esquemático hecho en ATP Draw.

Para la simulación del sistema eléctrico “IEEE 123 Node Test Feeder” utilizaremos los siguientes parámetros.

Tabla A.1. Configuración de líneas de transmisión

Config.	Phasing	Phase Cond.	Neutral Cond.	Spacing
		ACSR	ACSR	ID
1	A B C N	336,400 26/7	4/0 6/1	500
2	A B C N	336,400 26/7	4/0 6/1	500
3	A B C N	336,400 26/7	4/0 6/1	500
4	A B C N	336,400 26/7	4/0 6/1	500
5	A B C N	336,400 26/7	4/0 6/1	500
6	A B C N	336,400 26/7	4/0 6/1	500
7	A C N	336,400 26/7	4/0 6/1	505



8	A B N	336,400 26/7	4/0 6/1	505
9	A N	1/0	1/0	510
10	B N	1/0	1/0	510
11	C N	1/0	1/0	510

Dependiendo del tipo de configuración se detallas si las líneas son trifásicas tetrafilar, bifásicas trifilar o monofásicas. Se puede observar también el calibre de los conductores por fases y por neutro. En la tabla A.2 se muestran los valores de espacio entre conductores (spacing ID).

Tabla A.2 Espaciamento entre conductores

Spacing ID	TYPE
500	Three- Phase, 4 wire
505	Two- Phase, 3 wire
510	Single-Phase, 2 wire

A continuación se observan las distancias entre conductores en las líneas del sistema de distribución.

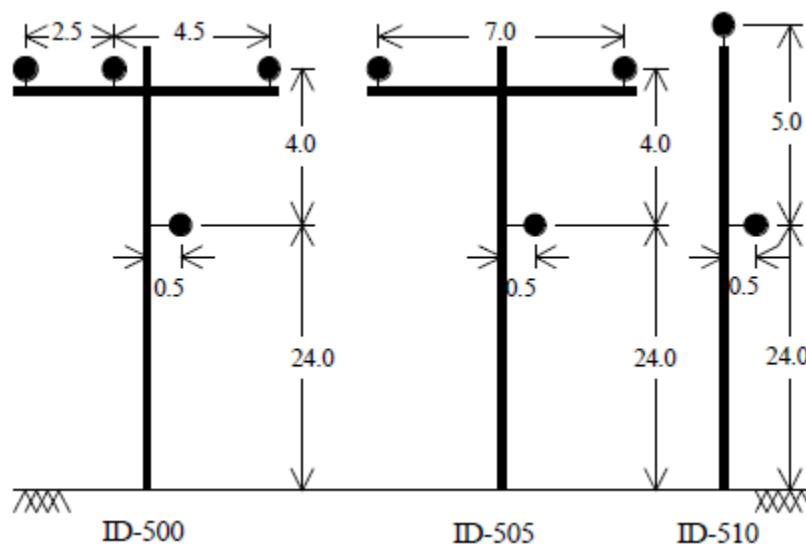


Figura 78. Distancia entre conductores.



Para cada tramo de línea de transmisión del sistema de distribución hay una diferente configuración que está detallado en la tabla A3.

Tabla A3. Configuración de las líneas de transmisión eléctrica

Node A	Node B	Length (ft)	Config.
1	2	175	10
1	3	250	11
1	7	300	1
3	4	200	11
3	5	325	11
5	6	250	11
7	8	200	1
8	12	225	10
8	9	225	9
8	13	300	1
9	14	425	9
13	34	150	11
13	18	825	2
14	11	250	9
14	10	250	9
15	16	375	11
15	17	350	11
18	19	250	9
18	21	300	2
19	20	325	9
21	22	525	10
21	23	250	2
23	24	550	11



23	25	275	2
25	26	350	7
25	28	200	2
26	27	275	7
26	31	225	11
27	33	500	9
28	29	300	2
29	30	350	2
30	250	200	2
31	32	300	11
34	15	100	11
35	36	650	8
35	40	250	1
36	37	300	9
36	38	250	10
38	39	325	10
40	41	325	11
40	42	250	1
42	43	500	10
42	44	200	1
44	45	200	9
44	47	250	1
45	46	300	9
47	48	150	4
47	49	250	4
49	50	250	4



50	51	250	4
52	53	200	1
53	54	125	1
54	55	275	1
54	57	350	3
55	56	275	1
57	58	250	10
57	60	750	3
58	59	250	10
60	61	550	5
60	62	250	12
62	63	175	12
63	64	350	12
64	65	425	12
65	66	325	12
67	68	200	9
67	72	275	3
67	97	250	3
68	69	275	9
69	70	325	9
70	71	275	9
72	73	275	11
72	76	200	3
73	74	350	11
74	75	400	11
76	77	400	6



76	86	700	3
77	78	100	6
78	79	225	6
78	80	475	6
80	81	475	6
81	82	250	6
81	84	675	11
82	83	250	6
84	85	475	11
86	87	450	6
87	88	175	9
87	89	275	6
89	90	225	10
89	91	225	6
91	92	300	11
91	93	225	6
93	94	275	9
93	95	300	6
95	96	200	10
97	98	275	3
98	99	550	3
99	100	300	3
100	450	800	3
101	102	225	11
101	105	275	3
102	103	325	11



103	104	700	11
105	106	225	10
105	108	325	3
106	107	575	10
108	109	450	9
108	300	1000	3
109	110	300	9
110	111	575	9
110	112	125	9
112	113	525	9
113	114	325	9
135	35	375	4
149	1	400	1
152	52	400	1
160	67	350	6
197	101	250	3

Para cada una de las configuraciones existe una matrix de impedancias que permite tener los valores de resistencia y reactancia en las líneas y poder llevar a cabo el modelamiento en ATPDraw.

Configuración 1:

Z (R +jX) in ohms per mile  
 0.4576 1.0780 0.1560 0.5017 0.1535 0.3849  
 0.4666 1.0482 0.1580 0.4236  
 0.4615 1.0651  
 B in micro Siemens per mile  
 5.6765 -1.8319 -0.6982  
 5.9809 -1.1645  
 5.3971

Configuración 2:

Z (R +jX) in ohms per mile



0.4666 1.0482 0.1580 0.4236 0.1560 0.5017  
0.4615 1.0651 0.1535 0.3845  
0.4576 1.0780

B in micro Siemens per mile

5.9809 -1.1645 -1.8319  
5.3971 -0.6982  
5.6765

Configuración 3:

Z (R +jX) in ohms per mile

0.4615 1.0651 0.1535 0.3849 0.1580 0.4236  
0.4576 1.0780 0.1560 0.5017  
0.4666 1.0482

B in micro Siemens per mile

5.3971 -0.6982 -1.1645  
5.6765 -1.8319  
5.9809

Configuración 4:

Z (R +jX) in ohms per mile

0.4615 1.0651 0.1535 0.3849 0.1580 0.4236  
0.4666 1.0482 0.1560 0.5017  
0.4576 1.0780

B in micro Siemens per mile

5.3971 -1.1645 -0.6982  
5.9809 -1.8319  
5.6765

Configuración 5:

Z (R +jX) in ohms per mile

0.4666 1.0482 0.1560 0.5017 0.1580 0.4236  
0.4576 1.0780 0.1535 0.3849  
0.4615 1.0651

B in micro Siemens per mile

5.9809 -1.8319 -1.1645  
5.6765 -0.6982  
5.3971

Configuración 6:

Z (R +jX) in ohms per mile



0.4576 1.0780 0.1535 0.3849 0.1560 0.5017  
0.4615 1.0651 0.1580 0.4236  
0.4666 1.0482

B in micro Siemens per mile

5.6765 -0.6982 -1.8319  
5.3971 -1.1645  
5.9809

Configuración 7:

Z (R +jX) in ohms per mile

0.4576 1.0780 0.0000 0.0000 0.1535 0.3849  
0.0000 0.0000 0.0000 0.0000  
0.4615 1.0651

B in micro Siemens per mile

5.1154 0.0000 -1.0549  
0.0000 0.0000  
5.1704

Configuración 8:

Z (R +jX) in ohms per mile

0.4576 1.0780 0.1535 0.3849 0.0000 0.0000  
0.4615 1.0651 0.0000 0.0000  
0.0000 0.0000

B in micro Siemens per mile

5.1154 -1.0549 0.0000  
5.1704 0.0000  
0.0000

Configuración 9:

Z (R +jX) in ohms per mile

1.3292 1.3475 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000  
0.0000 0.0000 0.0000 0.0000  
0.0000 0.0000

B in micro Siemens per mile

4.5193 0.0000 0.0000  
0.0000 0.0000  
0.0000

Configuración 10:



Z (R +jX) in ohms per mile  
 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000  
 1.3292 1.3475 0.0000 0.0000  
 0.0000 0.0000  
 B in micro Siemens per mile  
 0.0000 0.0000 0.0000  
 4.5193 0.0000  
 0.0000

Configuración 11:

Z (R +jX) in ohms per mile  
 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000  
 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000  
 1.3292 1.3475  
 B in micro Siemens per mile  
 0.0000 0.0000 0.0000  
 0.0000 0.0000  
 4.5193

Configuración 12:

Z (R +jX) in ohms per mile  
 1.5209 0.7521 0.5198 0.2775 0.4924 0.2157  
 1.5329 0.7162 0.5198 0.2775  
 1.5209 0.7521  
 B in micro Siemens per mile  
 67.2242 0.0000 0.0000  
 67.2242 0.0000  
 67.2242

A continuación detallamos los datos del transformador.

Tabla A.4 Datos de transformador

Transformer Data					
	kVA	Kv-high	kV-low	R - %	X - %
Substation	5,000	115 – D	4.16 Gr-w	1	8
XFM - 1	150	4.16 - D	0.480 – D	1.27	2.72



En la tabla A.5 se muestran los bancos de capacitores conectados al sistema.

Tabla A.5 Cargas capacitivas

Shunt Capacitors			
Node	Ph - A	Ph - B	Ph - C
	kVAr	kVAr	kVAr
83	200	200	200
88	50		
90		50	
92			50
<b>Total</b>	<b>250</b>	<b>250</b>	<b>250</b>

En la tabla A.6 presentamos los parámetros de las cargas puntuales con las cuales se diseña el sistema.

Tabla A.6 Cargas concentradas

Node	Load	Ph-1	Ph-1	Ph-2	Ph-2	Ph-3	Ph-3
	Model	kW	kVAr	kW	kVAr	kW	kVAr
1	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
2	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
4	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
5	Y-I	0	0	0	0	20	10
6	Y-Z	0	0	0	0	40	20
7	Y-PQ	20	0	0	0	0	0
9	Y-PQ	40	0	0	0	0	0
10	Y-I	20	0	0	0	0	0



11	Y-Z	40	0	0	0	0	0
12	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
16	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
17	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
19	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
20	Y-I	40	20	0	0	0	0
22	Y-Z	0	0	40	20	0	0
24	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
28	Y-I	40	20	0	0	0	0
29	Y-Z	40	20	0	0	0	0
30	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
31	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
32	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
33	Y-I	40	20	0	0	0	0
34	Y-Z	0	0	0	0	40	20
35	D-PQ	40	20	0	0	0	0
37	Y-Z	40	20	0	0	0	0
38	Y-I	0	0	20	10	0	0
39	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
41	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
42	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
43	Y-Z	0	0	40	20	0	0
45	Y-I	20	10	0	0	0	0
46	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
47	Y-I	35	25	35	25	35	25
48	Y-Z	70	50	70	50	70	50



49	Y-PQ	35	25	35	25	35	25
50	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
51	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
52	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
53	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
55	Y-Z	20	10	0	0	0	0
56	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
58	Y-I	0	0	20	10	0	0
59	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
60	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
62	Y-Z	0	0	0	0	40	20
63	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
64	Y-I	0	0	75	35	0	0
65	D-Z	35	25	35	25	70	50
66	Y-PQ	0	0	0	0	75	35
68	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
69	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
70	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
71	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
73	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
74	Y-Z	0	0	0	0	40	20
75	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
76	D-I	105	80	70	50	70	50
77	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
79	Y-Z	40	20	0	0	0	0
80	Y-PQ	0	0	40	20	0	0



82	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
83	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
84	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
85	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
86	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
87	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
88	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
90	Y-I	0	0	40	20	0	0
92	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
94	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
95	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
96	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
98	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
99	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
100	Y-Z	0	0	0	0	40	20
102	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
103	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
104	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
106	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
107	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
109	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
111	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
112	Y-I	20	10	0	0	0	0
113	Y-Z	40	20	0	0	0	0
114	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
Total		1420	775	915	515	1155	635



**B.1 Resultados obtenidos midiendo solo tensión con dos medidores, para la localización relativa de fallas.**

Es importante mostrar los resultados obtenidos luego de desarrollar una nueva metodología que permite llegar a la localización relativa de huecos de tensión midiendo solo tensión con dos medidores en el sistema.

Tabla B1. Datos utilizados para desarrollar la nueva metodología.

Número	Localización	Tipo	$(V1-V2)/(V_{ss1}-V_{ss2})$	$V_{eficaz2}/V_{ss2}$
1	arriba	Monofásica tierra	0,786913704	1,13477799
2	arriba	Monofásica línea	0,421212677	0,04047863
3	arriba	Bifásica línea	0,509778348	0,94847445
4	arriba	Trifásica tierra	0,000328519	0,00037918
5	arriba	Trifásica tierra	0,761489249	0,03485297
6	arriba	Trifásica tierra	0,001151411	0,00032024
7	arriba	Bifásica línea	0,441468602	0,01966767
8	arriba	Bifásica tierra	0,768554811	0,02602065
9	arriba	Bifásica tierra	0,76992886	0,02001826
10	arriba	Bifásica tierra	0,441088802	0,01511779
11	arriba	Trifásica línea	0,000315882	0,00029637
12	abajo	Monofásica tierra	1,868682164	0,48540209
13	abajo	Bifásica tierra	4,145176858	0,10982374
14	abajo	Bifásica tierra	4,24900981	0,05455604
15	abajo	Trifásica línea	5,56469875	0,22670647
16	abajo	Monofásica tierra	0,833046209	0,3004793
17	abajo	Monofásica tierra	0,999320697	0,94957454
18	abajo	Trifásica línea	7,025833122	0,651118
19	abajo	Bifásica tierra	3,790405389	0,68607081



20	abajo	Monofásica tierra	2,453895228	0,65799661
21	abajo	Monofásica tierra	2,503002299	0,64834604
22	abajo	Bifásica tierra	3,841843665	0,67663594
23	abajo	Trifásica línea	7,143760716	0,64424403
24	abajo	Bifásica tierra	8,454029947	0,12445793
25	abajo	Monofásica tierra	3,761497097	0,12645195
26	abajo	Trifásica línea	14,19585871	0,12340627
27	abajo	Trifásica línea	17,96283903	0,05847876
28	abajo	Bifásica tierra	10,60584157	0,05897243
29	abajo	Monofásica tierra	4,549904949	0,05977932
30	M1 y M2	Trifásica línea	1,340751817	0,02076109
31	M1 y M2	Trifásica línea	1,540487275	0,00020805
32	M1 y M2	Bifásica tierra	1,163088326	0,01658352
33	M1 y M2	Monofásica tierra	1,070050078	0,01961255
34	M1 y M2	Monofásica tierra	1,124636468	0,01803645
35	M1 y M2	Bifásica tierra	1,311865072	0,01539188
36	M1 y M2	Trifásica línea	1,80199392	0,00019958
37	M1 y M2	Trifásica línea	0,865925806	0,00024327
38	M1 y M2	Bifásica tierra	0,786611106	0,02209867
39	M1 y M2	Monofásica tierra	0,928185351	0,02699383
40	M1 y M2	Monofásica tierra	3,481126111	0,00977084
41	M1 y M2	bifásica tierra	7,761789946	0,0084796
42	M1 y M2	trifásica línea	12,71516105	0,00018566
43	M1 y M2	trifásica línea	9,683372683	0,07191644
44	M1 y M2	bifásica tierra	5,938265003	0,0854413
45	M1 y M2	Monofásica tierra	2,770667287	0,08715976



46	M1 y M2	Monofásica tierra	1,425765316	0,03369453
47	M1 y M2	bifásica tierra	2,190180059	0,02674189
48	M1 y M2	trifásica línea	3,132159034	0,00028528
49	M1 y M2	trifásica línea	4,874215957	0,00026985
50	M1 y M2	bifásica tierra	3,172630849	0,02368873
51	M1 y M2	bifásica tierra	7,89477051	0,00847977
52	M1 y M2	Monofásica tierra	3,52807411	0,00977196
53	M1 y M2	Monofásica tierra	4,387510959	0,00162847
54	M1 y M2	bifásica tierra	10,15282562	0,00138755

## B2. Resultados para la validación de las metodologías existentes

Mostramos una serie de resultados que obtuvimos en cada uno de los tipos de fallas y su localización relativa con respecto al medidor que detecta el evento ocurrido, se tomo una base de 500 fallas hechas en el sistema “IEEE 123 Node Test Feeder”, de la cual se puede decir que funciona correctamente para cada una de las metodologías ya planteadas.

Tabla B2. Datos utilizados para evaluar las metodologías.

fallas	Localización	Iss/lfault	(ppost-ppre)/ppre	isag/iss
1	Aguas Arriba	0,84827497	0,00964499	0,46946169
2	Aguas Arriba	0,35287189	0,00379099	0,34430628
3	Aguas Arriba	7,24E-05	0,00499227	0,00026395
4	Aguas Arriba	8,00E-07	0,00096584	6,09E-06
5	Aguas Arriba	0,49323352	0,00034664	0,52363064
6	Aguas Arriba	0,67136199	0,00103618	0,47429887
7	Aguas Arriba	0,90304266	0,00051196	1,10454238
8	Aguas Arriba	0,79468136	-0,0001564	1,13248513
9	Aguas Arriba	0,74908988	0,00388949	0,1529898



10	Aguas Arriba	0,80791243	0,00271727	0,34179791
11	Aguas Arriba	0,80896393	0,0026313	0,33527978
12	Aguas Arriba	0,83769604	0,00089168	1,18266293
13	Aguas Arriba	0,90060559	0,00085813	1,11079315
14	Aguas Arriba	0,85030369	0,00968079	0,47874981
15	Aguas Arriba	0,90521603	0,00365728	1,10109478
16	Aguas Arriba	0,71179969	0,00434002	0,03963033
17	Aguas Arriba	0,00012579	6,83E-05	0,00030412
18	Aguas Arriba	0,48850993	0,00087137	0,51633688
19	Aguas Arriba	0,39170306	0,0030381	0,03057599
20	Aguas Arriba	0,81399679	0,00021355	1,22273409
21	Aguas Arriba	0,50275896	0,00476816	0,20155924
22	Aguas Arriba	0,60737141	-0,00031893	0,57023555
23	Aguas Arriba	0,2706243	0,0041895	0,26344431
24	Aguas Arriba	0,31225675	0,00399749	0,30433885
25	Aguas Arriba	0,6569751	0,00379193	0,60989764
26	Aguas Arriba	0,65883661	0,00334646	0,46797068
27	Aguas Arriba	0,38493705	0,05327204	0,37851553
28	Aguas Arriba	0,88490809	-5,30E-06	1,06462789
29	Aguas Arriba	0,28407013	0,00410207	0,28458203
30	Aguas Arriba	0,62126163	0,00306611	1,14992236
31	Aguas Arriba	0,66193836	6,25E-05	0,9898452
32	Aguas Arriba	0,87443098	0,00201071	1,14962197
33	Aguas Arriba	0,88170544	0,00099875	1,13976403
34	Aguas Arriba	0,60174487	0,00384365	0,37492177
35	Aguas Arriba	0,66286538	0,0037418	0,61527377



36	Aguas Arriba	0,68006259	0,00358493	0,63110731
37	Aguas Arriba	0,3614539	0,00368926	0,36928324
38	Aguas Arriba	0,88815761	0,00179998	1,13036669
39	Aguas Arriba	0,66278582	0,00286109	1,13262311
40	Aguas Arriba	0,67656137	0,00276963	1,12650512
41	Aguas Arriba	0,38769447	0,00340369	0,39794025
42	Aguas Arriba	0,69239879	0,00076832	0,6432848
43	Aguas Arriba	0,85111236	0,00233001	0,48668813
44	Aguas Arriba	0,66563799	0,00249126	0,48572299
45	Aguas Arriba	0,71539573	0,00128286	0,66587396
46	Aguas Arriba	0,41790525	0,00351818	0,43046431
47	Aguas Arriba	0,69224946	0,00265052	1,11924522
48	Aguas Arriba	0,72358999	0,00028281	0,99122996
49	Aguas Arriba	0,88139542	-1,29E-05	1,06497653
50	Aguas Arriba	0,65394216	0,00321351	0,45019504
51	Aguas Arriba	0,44249867	0,00338831	0,45152886
52	Aguas Arriba	0,73672096	0,00240117	0,99159205
53	Aguas Arriba	0,74736845	0,00232134	0,99174739
54	Aguas Arriba	0,46477689	0,00312732	0,47222155
55	Aguas Arriba	0,86449551	0,00196632	0,5360789
56	Aguas Arriba	0,68191202	0,00380064	0,49791258
57	Aguas Arriba	0,48591728	0,00291949	0,4921501
58	Aguas Arriba	0,74303474	0,00260265	0,67895277
59	Aguas Arriba	0,46892405	0,00133933	1,23201996
60	Aguas Arriba	0,52102753	3,86E-05	0,98491561
61	Aguas Arriba	0,82284943	0,00280806	1,23503265



62	Aguas Arriba	1,50E-05	6,26E-05	0,00021922
63	Aguas Arriba	2,07E-05	0,00178016	0,0002315
64	Aguas Arriba	0,39695333	0,00070156	0,0217849
65	Aguas Arriba	0,72245917	0,00409649	0,02746344
66	Aguas Arriba	0,78507974	-0,00010034	1,16012124
67	Aguas Arriba	0,46706116	0,0004352	1,23548281
68	Aguas Arriba	0,52141441	4,78E-05	0,98444448
69	Aguas Arriba	1,93E-05	0,00198637	0,00019415
70	Aguas Arriba	0,13003826	0,00081788	0,13841191
71	Aguas Arriba	0,46738644	0,00020296	0,14282324
72	Aguas Arriba	0,55669322	-0,00010057	0,59881345
73	Aguas Arriba	0,84439999	5,11E-05	1,1850223
74	Aguas Arriba	0,8284235	5,38E-05	1,23200924
75	Aguas Arriba	0,46822083	0,00023371	1,24182828
76	Aguas Arriba	1,09E-05	1,51E-05	0,00016259
77	Aguas Arriba	0,07985744	0,00088113	0,08533824
78	Aguas Arriba	0,41506606	0,00461569	0,07891033
79	Aguas Arriba	0,07970804	0,00090429	0,08535335
80	Aguas Arriba	0,53425206	0,00079335	0,57011308
81	Aguas Arriba	0,73669349	0,00088082	0,08416493
82	Aguas Arriba	0,77095365	0,0008029	0,22484089
83	Aguas Arriba	0,21924819	0,00079851	0,23055384
84	Aguas Arriba	0,52087339	0,00073475	0,23434904
85	Aguas Arriba	0,57373837	0,00065517	0,32498415
86	Aguas Arriba	0,84134226	0,00334981	1,11958896
87	Aguas Arriba	0,83949953	0,00335128	1,12040561



88	Aguas Arriba	0,79983702	0,00691422	1,1352189
89	Aguas Arriba	0,75615204	0,00536779	0,15597987
90	Aguas Arriba	0,82795898	0,00180925	0,41877134
91	Aguas Arriba	0,82924094	0,00281577	0,41886201
92	Aguas Arriba	0,80683965	0,00468754	0,34176548
93	Aguas Arriba	0,90128286	0,00630211	1,11076901
94	Aguas Arriba	0,90971607	0,00445591	1,09465589
95	Aguas Arriba	0,07985744	0,0205623	0,0853415
96	Aguas Arriba	0,44074073	0,02092904	0,09010966
97	Aguas Arriba	0,73669349	0,0205741	0,08416502
98	Aguas Arriba	0,53348794	0,02054758	0,5700757
99	Aguas Arriba	0,5589095	0,02044055	0,59881408
100	Aguas Arriba	0,46880818	0,02050815	0,14279444
101	Aguas Arriba	0,13038323	0,02050381	0,13839873
102	Aguas Arriba	0,85694728	0,01970892	1,15398046
103	Aguas Arriba	0,57162941	0,02022858	1,1916261
104	Aguas Arriba	0,21952371	0,02041055	0,23051277
105	Aguas Arriba	0,30914168	0,02039512	0,32185478
106	Aguas Arriba	0,55094721	0,02373104	0,31067859
107	Aguas Arriba	0,84956352	0,01965491	1,15882465
108	Aguas Arriba	0,70502867	0,0200804	1,12603884
109	Aguas Arriba	0,45455424	0,02195517	0,47615629
110	Aguas Arriba	0,45455424	0,00224546	0,47612446
111	Aguas Arriba	0,84798507	0,00117772	0,46735191
112	Aguas Arriba	0,67242256	0,00108135	0,47422919
113	Aguas Arriba	0,4905677	0,00190343	0,51515716



114	Aguas Arriba	0,00017381	0,2017886	0,00039748
115	Aguas Arriba	0,4743591	0,00132512	1,21722301
116	Aguas Arriba	0,79468125	-0,00016466	1,13228921
117	Aguas Arriba	0,79437502	0,0004005	1,13736652
118	Aguas Arriba	0,47853672	0,00133126	1,22212219
119	Aguas Arriba	0,00024999	0,00200563	0,0003043
120	Aguas Arriba	0,49136589	0,00193701	0,5157505
121	Aguas Arriba	0,49195896	0,00199188	0,51628198
122	Aguas Arriba	0,38277084	0,00022113	0,02722029
123	Aguas Arriba	5,25E-05	0,00195058	0,00028483
124	Aguas Arriba	0,37284747	0,00521521	0,02667282
125	Aguas Arriba	0,21355202	0,00448934	0,20757661
126	Aguas Arriba	0,58858722	0,00134524	1,16995679
127	Aguas Arriba	0,8304128	0,00207715	1,10108665
128	Aguas Arriba	0,84347242	-2,83E-05	1,09165948
129	Aguas Arriba	0,61960587	0,00669829	1,15587668
130	Aguas Arriba	0,26997413	0,00432581	0,26338647
131	Aguas Arriba	0,31118377	0,00372218	0,3043299
132	Aguas Arriba	0,64179859	0,00258084	1,14574445
133	Aguas Arriba	0,85353773	0,00243406	1,08540339
134	Aguas Arriba	0,87669487	0,00147672	1,07016628
135	Aguas Arriba	0,69737799	0,00097282	1,12077888
136	Aguas Arriba	0,41498508	0,00360268	0,40643939
137	Aguas Arriba	0,71731751	0,00489354	1,11257387
138	Aguas Arriba	0,45216408	0,00294607	0,44344233
139	Aguas Arriba	0,88543852	0,00227978	1,06484591



140	Aguas Arriba	0,87540699	0,00152031	1,06898425
141	Aguas Arriba	0,69045301	0,00270611	1,11819674
142	Aguas Arriba	0,41828448	0,00344163	0,43056249
143	Aguas Arriba	0,67504506	0,001044	1,1261699
144	Aguas Arriba	0,3874786	0,00348153	0,39797429
145	Aguas Arriba	0,86861963	-1,58E-05	1,07341157
146	Aguas Arriba	0,86282215	-1,88E-05	1,0774021
147	Aguas Arriba	0,66102297	0,00288032	1,13157429
148	Aguas Arriba	0,36110867	0,00352176	0,36923363
149	Aguas Arriba	0,43471447	0,00320249	0,44782716
150	Aguas Arriba	0,69877755	0,00341289	1,11274839
151	Aguas Arriba	0,87890788	0,00023148	1,06661851
152	Aguas Arriba	0,85477332	0,00026675	1,08310003
153	Aguas Arriba	0,64238607	0,00259789	1,14155272
154	Aguas Arriba	0,32492925	0,00389589	0,32938541
155	Aguas Arriba	0,07985744	0,00088113	0,08533824
156	Aguas Arriba	0,13028985	-7,23E-05	0,13836839
157	Aguas Arriba	0,21899173	0,00078522	0,23053804
158	Aguas Arriba	0,84761055	0,00125512	0,46751331
159	Aguas Arriba	0,30886832	0,00071007	0,32184757
160	Aguas Arriba	0,79512239	0,00074082	0,31409585
161	Aguas Arriba	0,50587036	0,0009602	1,22444195
162	Aguas Arriba	0,52694171	0,00066824	1,2129563
163	Aguas Arriba	0,57162941	0,00055476	1,1914758
164	Aguas Arriba	0,61741574	0,0004759	1,1695475
165	Aguas Arriba	0,80242794	-2,14E-05	1,17357665



166	Aguas Arriba	0,81238782	0,00155186	1,17191202
167	Aguas Arriba	0,83055836	0,00146151	1,16655733
168	Aguas Arriba	0,84956352	-1,04E-05	1,158673
169	Aguas Arriba	0,78320286	0,00210104	1,14691046
170	Aguas Arriba	0,47306066	0,00374698	1,23041092
171	Aguas Arriba	2,07E-05	0,00177688	0,00023129
172	Aguas Arriba	0,46893291	0,00134772	1,23228424
173	Aguas Arriba	4,34E-05	2,44E-06	0,00021907
174	Aguas Arriba	0,7836042	0,00403502	1,14989523
175	Aguas Arriba	0,78382021	0,0040686	1,15177497
176	Aguas Arriba	0,47216604	0,00254328	1,23276727
177	Aguas Arriba	3,95E-05	4,33E-07	0,00021249
178	Aguas Arriba	0,48571543	0,00299217	0,49221762
179	Aguas Arriba	0,46477689	0,00312891	0,47223982
180	Aguas Abajo	7,71026771	0,00025634	9,49438557
181	Aguas Abajo	5,17982428	8,35E-05	5,78686969
182	Aguas Abajo	8,76573493	0,00051003	10,7190004
183	Aguas Abajo	0,49726399	0,0010524	0,4514635
184	Aguas Abajo	9,56514555	0,0040496	11,2409233
185	Aguas Abajo	2,9403671	-0,00026188	1,12786123
186	Aguas Abajo	10,6676635	0,0003524	12,5172794
187	Aguas Abajo	10,7780166	0,0007665	13,2536176
188	Aguas Abajo	4,83461256	0,00073265	6,32600205
189	Aguas Abajo	8,17415423	0,00127611	1,16487476
190	Aguas Abajo	13,0459189	2,49E-05	0,98977967
191	Aguas Abajo	9,11114721	0,00153789	1,19010108



192	Aguas Abajo	9,94632735	0,00115986	1,20151806
193	Aguas Abajo	3,83433766	0,0001442	1,2245613
194	Aguas Abajo	11,1113592	0,00034732	1,22681254
195	Aguas Abajo	3,83433766	0,0001442	1,2245613
196	Aguas Abajo	10,9239143	0,00090892	1,24064853
197	Aguas Abajo	3,27716717	0,00013081	1,20294177
198	Aguas Abajo	7,55203127	0,00292284	9,24525901
199	Aguas Abajo	2,30594781	7,28E-05	1,09518265
200	Aguas Abajo	8,46907403	0,00360977	10,3794081
201	Aguas Abajo	4,23849997	0,00015632	1,22141118
202	Aguas Abajo	8,8802167	0,0039363	10,8858406
203	Aguas Abajo	10,4195654	0,00205332	12,0168655
204	Aguas Abajo	10,9714419	0,00221877	12,6533594
205	Aguas Abajo	5,47248538	9,69E-05	6,08799874
206	Aguas Abajo	6,82753768	0,00299235	9,35364738
207	Aguas Abajo	7,68436894	0,00133267	10,5513841
208	Aguas Abajo	8,07035791	0,00145667	11,0910945
209	Aguas Abajo	1,95761078	0,00014208	1,08159262
210	Aguas Abajo	8,90711305	0,0017361	12,2528557
211	Aguas Abajo	4,18192971	0,00105037	4,83564852
212	Aguas Abajo	9,49163856	0,00036396	12,9466224
213	Aguas Abajo	12,2671761	0,00047118	9,73395824
214	Aguas Abajo	7,79366484	3,25E-05	0,99249967
215	Aguas Abajo	2,38256099	0,00102324	1,12596044
216	Aguas Abajo	8,01022545	0,00155483	0,99188707
217	Aguas Abajo	8,35999295	0,0016858	0,9916606



218	Aguas Abajo	4,24237207	0,0003342	1,13404863
219	Aguas Abajo	9,59560295	0,00119912	0,99093408
220	Aguas Abajo	3,64408617	-0,00034825	1,12141916
221	Aguas Abajo	10,3374227	3,22E-05	0,99066986
222	Aguas Abajo	7,18987197	0,00140808	8,83181173
223	Aguas Abajo	8,02642041	-0,00031947	9,93851429
224	Aguas Abajo	8,40538827	-0,00032797	10,4304733
225	Aguas Abajo	1,99771479	0,00088006	3,55618454
226	Aguas Abajo	8,34922867	0,01411229	10,7662417
227	Aguas Abajo	0,81223327	0,00366047	1,13919224
228	Aguas Abajo	8,64683185	0,00761306	9,00678962
229	Aguas Abajo	3,54374494	-0,00017954	6,84265718
230	Aguas Abajo	3,93609954	-0,00022234	7,73261269
231	Aguas Abajo	4,49589848	0,000348	1,19670862
232	Aguas Abajo	3,9239028	0,00321478	8,10835422
233	Aguas Abajo	2,35732914	1,41E-05	4,02330615
234	Aguas Abajo	4,47002736	0,00114352	8,99965642
235	Aguas Abajo	0,90639566	0,00021285	1,0946483
236	Aguas Abajo	4,69743742	0,00127431	9,51984817
237	Aguas Abajo	0,87984529	0,00239674	1,08172633
238	Aguas Abajo	3,40251193	0,00184996	1,14933864
239	Aguas Abajo	2,10304691	0,00097268	3,80995914
240	Aguas Abajo	3,7721823	0,00056832	1,17283121
241	Aguas Abajo	4,32234408	0,00036768	1,18351172
242	Aguas Abajo	4,64720049	0,00010986	1,20747603
243	Aguas Abajo	2,56686246	0,00107026	1,11460831



244	Aguas Abajo	4,95463018	0,00050812	1,22072136
245	Aguas Abajo	3,61516257	0,00157348	1,11935885
246	Aguas Abajo	9,86328974	0,00017011	11,2633132
247	Aguas Abajo	4,00287032	0,00197888	1,13931654
248	Aguas Abajo	4,30727641	0,00036275	1,14844096
249	Aguas Abajo	8,66359872	0,00026035	10,9477291
250	Aguas Abajo	4,28501638	0,0012539	1,16827611
251	Aguas Abajo	4,49106753	0,00147088	1,17881318
252	Aguas Abajo	12,7706798	0,00898025	10,1819013
253	Aguas Abajo	14,2690551	0,0007953	11,2327748
254	Aguas Abajo	14,7295876	0,00136663	11,6013225
255	Aguas Abajo	15,4608872	0,00148736	12,1957594
256	Aguas Abajo	17,0223584	0,00174181	13,4817713
257	Aguas Abajo	10,3818369	0,00093096	8,25996574
258	Aguas Abajo	17,8947629	0,00082723	14,2415669
259	Aguas Abajo	17,8947629	0,00082723	14,2415669
260	Aguas Abajo	0,84048648	-6,17E-05	1,1042151
261	Aguas Abajo	3,45369864	0,00086584	6,66516965
262	Aguas Abajo	2,88747737	0,00048446	1,17368557
263	Aguas Abajo	3,54924145	0,00090629	6,88252482
264	Aguas Abajo	3,65122712	0,00094964	7,11455734
265	Aguas Abajo	0,65915937	2,85E-05	0,99019023
266	Aguas Abajo	3,62736449	0,00073873	7,42369079
267	Aguas Abajo	5,91490079	0,00094462	1,1911492
268	Aguas Abajo	3,3372311	0,00080926	6,39852905
269	Aguas Abajo	2,89029295	0,00015986	1,16277557



270	Aguas Abajo	4,33762951		
271	Aguas Abajo	0,64493163	0,00021692	1,14749437
272	Aguas Abajo	4,22600563	0,00102949	8,43490659
273	Aguas Abajo	4,15873085	0,00122902	8,28051496
274	Aguas Abajo	3,71148495	0,00078532	7,63386347
275	Aguas Abajo	7,91119056	0,00071165	6,41516692
276	Aguas Abajo	3,63494295	0,00095964	7,08908203
277	Aguas Abajo	3,52289164	0,0009018	6,83379982
278	Aguas Abajo	0,84232153	0,00282687	0,46549619
279	Aguas Abajo	3,44282552	-0,00016577	6,60443866
280	Aguas Abajo	2,49365111	0,00050612	4,35350094
281	Aguas Abajo	3,23579142	0,00144594	1,14972988
282	Aguas Abajo	3,71797743	0,00028325	1,156606
283	Aguas Abajo	0,60602586	0,00767611	0,3635884
284	Aguas Abajo	3,78416607	-0,00033118	1,16254674
285	Aguas Abajo	0,65149593	0,00688307	0,43601689
286	Aguas Abajo	3,93712453	-0,00021741	1,16841295
287	Aguas Abajo	7,45879032	0,00068945	6,07319646
288	Aguas Abajo	3,83457849	0,00068514	1,17654394
289	Aguas Abajo	4,08050586	0,00078832	1,19054945
290	Aguas Abajo	4,69834156	0,00012353	1,21721789
291	Aguas Abajo	4,55206875	-8,25E-05	1,20075001
292	Aguas Abajo	4,48250891	-8,21E-05	1,19705651
293	Aguas Abajo	4,18430332	-7,77E-05	1,18001252
294	Aguas Abajo	3,80564554	0,00012077	1,16628959
295	Aguas Abajo	3,42002941	0,00184254	1,15950244



296	Aguas Abajo	9,0303244	0,0008706	7,1184173
297	Aguas Abajo	3,32518446	0,00163391	1,1528839
298	Aguas Abajo	3,4485798	0,0014254	1,12363381
299	Aguas Abajo	3,56487358	0,00152216	1,13036366
300	Aguas Abajo	3,76721479	0,00028944	1,13484281
301	Aguas Abajo	1,00001584	0,00173557	1,00008927
302	Aguas Abajo	3,66140767	0,00104171	1,14570143
303	Aguas Abajo	0,26617908	-0,55058607	1,00025556
304	Aguas Abajo	0,26618612	-0,55054259	1,00026819
305	Aguas Abajo	0,26618612	-0,55065015	0,96329949
306	Aguas Abajo	0,83232122	0,00093536	0,43686073
307	Aguas Abajo	4,38701684	0,0003213	1,16276758
308	Aguas Abajo	4,09579228	0,00033639	1,14894131
309	Aguas Abajo	3,84759584	0,00031786	1,13743611
310	Aguas Abajo	3,6241052	0,00185123	1,13217235
311	Aguas Abajo	7,7119526	0,00061752	6,04557832
312	Aguas Abajo	3,52139153	0,00151691	1,12637869
313	Aguas Abajo	7,27191623	0,00063123	8,83565685
314	Aguas Abajo	7,27191623	0,00063123	8,83565685
315	Aguas Abajo	7,81757929	0,0030923	9,50619467
316	Aguas Abajo	0,88282156	0,00171228	1,07135884
317	Aguas Abajo	8,07582817	0,00319835	9,83018134
318	Aguas Abajo	8,07639259	0,00112246	10,2765448
319	Aguas Abajo	9,47487527	0,00025659	11,084512
320	Aguas Abajo	10,6743423	0,00581021	12,5683703
321	Aguas Abajo	1,00013661	0,00063195	1,00008843



322	Aguas Abajo	9,38677551	0,00061327	11,4853768
323	Aguas Abajo	8,66011101	0,00052991	10,5723266
324	Aguas Abajo	4,62653979	0,00168974	5,37679358
325	Aguas Abajo	0,99963765	0,00044058	0,99919971
326	Aguas Abajo	0,85533271	0,00253833	0,51328199
327	Aguas Abajo	7,70758195	0,00026332	9,47211132
328	Aguas Abajo	7,50325273	0,0004448	9,11480317
329	Aguas Abajo	7,59497369	0,00306374	1,17023495
330	Aguas Abajo	7,89810334	0,00120657	1,1782042
331	Aguas Abajo	7,89810334	0,00120657	1,1782042
332	Aguas Abajo	9,27812669	0,00041921	1,19602001
333	Aguas Abajo	10,0013611	0,00029218	1,21028274
334	Aguas Abajo	11,2109099	0,00038465	1,23788886
335	Aguas Abajo	9,77973728	0,00171183	1,22276163
336	Aguas Abajo	9,61691163	0,00167136	1,21921728
337	Aguas Abajo	8,9121624	0,0014594	1,20232218
338	Aguas Abajo	11,4158024	0,00029228	15,3760115
339	Aguas Abajo	8,63397683	0,00042897	1,18790884
340	Aguas Abajo	8,33906141	0,00039986	1,1810544
341	Aguas Abajo	8,23759508	6,77E-05	1,17328215
342	Aguas Abajo	7,64722372	0,00031387	8,85069335
343	Aguas Abajo	7,92884968	0,00034064	9,17394955
344	Aguas Abajo	7,67934605	0,00302655	9,40898294
345	Aguas Abajo	8,15901728	0,00530658	9,69634725
346	Aguas Abajo	8,20139933	0,00344071	10,0423575
347	Aguas Abajo	8,62072167	0,00624877	10,6990809



348	Aguas Abajo	10,4732401	0,00073261	12,1102784
349	Aguas Abajo	9,84827744	0,00223748	11,3663161
350	Aguas Abajo	1,0000086	0,00410098	1,00004148
351	Aguas Abajo	5,07224288	3,21E-06	0,98929458
352	Aguas Abajo	0,9999812	0,00692544	0,99975818
353	Aguas Abajo	1,00000472	0,00538188	1,00010126
354	Aguas Abajo	0,99998571	0,2315622	0,99987819
355	Aguas Abajo	7,93324964	0,00158691	9,18785716
356	Aguas Abajo	13,158898	0,00305809	10,4686832
357	Aguas Abajo	13,5963497	0,0011339	10,7940295
358	Aguas Abajo	14,1659771	0,00121771	11,2119121
359	Aguas Abajo	15,2164854	0,00141835	11,9790496
360	Aguas Abajo	17,2030879	0,00177362	13,6069718
361	Aguas Abajo	15,9979979	0,00158154	12,7148941
362	Aguas Abajo	14,5466501	0,00132722	11,6277704
363	Aguas Abajo	4,11466079	-0,03007554	1,13399891
364	Aguas Abajo	12,6489215	0,00617388	10,6009066
365	Aguas Abajo	3,46491824	-0,03012985	1,14091898
366	Aguas Abajo	1,00000391	0,0049014	0,999977
367	Aguas Abajo	12,5923143	0,002893	10,1835358
368	Aguas Abajo	6,39529816	0,00281154	8,76497778
369	Aguas Abajo	6,64942727	0,00293722	9,12003849
370	Aguas Abajo	6,85663455	0,00303084	9,40958907
371	Aguas Abajo	7,08460604	0,00115241	9,72646004
372	Aguas Abajo	7,38036245	0,00124624	10,1374907
373	Aguas Abajo	7,92957699	0,00141976	10,8998789



374	Aguas Abajo	0,84996835	0,01337879	0,4895495
375	Aguas Abajo	9,53880567	-0,00015166	12,3748768
376	Aguas Abajo	8,85326181	-0,0001501	11,4816552
377	Aguas Abajo	8,9181618	-6,97E-05	11,3054771
378	Aguas Abajo	7,365726	0,00117993	10,4422442
379	Aguas Abajo	7,66427318	-0,00020761	9,70724631
380	Aguas Abajo	7,04148622	0,00056223	9,36794929
381	Aguas Abajo	6,80684019	0,00053347	9,05224281
382	Aguas Abajo	7,2275547	0,00195193	0,99623542
383	Aguas Abajo	8,50839456	0,00162379	10,2926021
384	Aguas Abajo	9,56252076	0,00185691	11,6350298
385	Aguas Abajo	3,91072122	-0,14722956	1,18189137
386	Aguas Abajo	8,97956004	0,00171829	10,9004657
387	Aguas Abajo	8,84570912	0,00170262	10,7322994
388	Aguas Abajo	8,45986151	0,00166422	0,99389115
389	Aguas Abajo	4,23075516	-0,07762077	0,98577595
390	Aguas Abajo	9,42273083	0,00194738	0,99261451
391	Aguas Abajo	8,55246392	0,0017406	0,9924016
392	Aguas Abajo	9,36350616	4,95E-05	0,99349332
393	Aguas Abajo	8,7825872	0,00102545	0,9942002
394	Aguas Abajo	8,4490484	0,00098318	0,99426558
395	Aguas Abajo	3,91654969	-0,07727444	0,98564487
396	Aguas Abajo	7,90746875	5,84E-06	0,99450419
397	Aguas Abajo	4,84494437	-0,14665664	0,9890211
398	Aguas Abajo	7,62095586	0,00205575	0,99499415
399	Aguas Abajo	7,37821309	0,00198491	0,99512394



400	Aguas Abajo	6,57704218	0,00245754	8,43649128
401	Aguas Abajo	7,31098173	0,00142609	8,77621236
402	Aguas Abajo	7,51044409	0,00145789	9,02909476
403	Aguas Abajo	7,72257522	0,0014889	9,29829934
404	Aguas Abajo	3,13116186	-5,55E-06	3,83818357
405	Aguas Abajo	8,00032808	0,00154428	9,65018158
406	Aguas Abajo	8,50839456	0,00162379	10,2926021
407	Aguas Abajo	9,56252076	0,00185691	11,6350298
408	Aguas Abajo	8,97956004	0,00171829	10,9004657
409	Aguas Abajo	8,84570912	0,00170262	10,7322994
410	Aguas Abajo	7,4967231	0,00700884	9,94910597
411	Aguas Abajo	7,22297677	0,00288713	9,33595948
412	Aguas Abajo	7,21965347	0,00549529	9,03864056
413	Aguas Abajo	7,00852413	0,00528425	8,75793347
414	Aguas Abajo	4,69743742	0,00127431	9,51984817
415	Aguas Abajo	4,49075078	0,00116238	9,04758983
416	Aguas Abajo	4,28491272	0,00106718	8,57801173
417	Aguas Abajo	3,71601916	0,00305529	8,0678635
418	Aguas Abajo	3,57066123	-0,00017158	6,90299109
419	Aguas Abajo	1,00001519	0,00085652	1,00019218
420	Aguas Abajo	5,84263144	-6,24E-05	0,99276229
421	Aguas Abajo	4,52956977	0,00098879	1,21093955
422	Aguas Abajo	4,32984325	0,00091437	1,20101238
423	Aguas Abajo	4,2457082	8,60E-05	1,19085637
424	Aguas Abajo	3,71090669	8,38E-05	1,15799767
425	Aguas Abajo	4,77955409	0,00227769	1,17928165



426	Aguas Abajo	0,6591611	3,74E-05	0,99019038
427	Aguas Abajo	4,57798464	0,00209303	1,17209961
428	Aguas Abajo	5,32152369	2,08E-05	0,99355607
429	Aguas Abajo	4,38166481	0,00188362	1,16510373
430	Aguas Abajo	4,24230993	-0,0001471	1,15776647
431	Aguas Abajo	3,71380654	-0,00018399	1,12920023
432	Aguas Abajo	1,00001519	0,00076227	1,00021808
433	Aguas Abajo	10,252075	0,00070702	12,5845638
434	Aguas Abajo	10,1715543	0,00031498	11,9197704
435	Aguas Abajo	10,1715543	0,00026024	11,9203982
436	Aguas Abajo	0,72912259	2,69E-05	0,99126667
437	Aguas Abajo	7,84287175	0,00040772	9,55776769
438	Aguas Abajo	4,38290992	2,54E-05	0,99456495
439	Aguas Abajo	10,6037791	0,00059237	1,24038957
440	Aguas Abajo	10,1469646	0,00130776	1,23060916
441	Aguas Abajo	10,385671	0,00177078	1,22090291
442	Aguas Abajo	9,86969698	0,00133792	1,21086762
443	Aguas Abajo	8,2589426	0,00129889	1,17603981
444	Aguas Abajo	10,2765937	0,0044118	12,6089316
445	Aguas Abajo	9,65102324	0,00753655	12,024184
446	Aguas Abajo	0,72298931	5,01E-05	0,99151828
447	Aguas Abajo	9,3348743	0,00432078	11,4455942
448	Aguas Abajo	4,367925	0,00045268	0,9930874
449	Aguas Abajo	8,84439796	0,00392394	10,8379906
450	Aguas Abajo	7,62813823	0,00298865	9,33245547
451	Aguas Abajo	9,40373097	0,00185612	12,939752



452	Aguas Abajo	8,46595686	0,00152287	12,3121268
453	Aguas Abajo	8,04794669	0,00137549	11,6883464
454	Aguas Abajo	7,61104114	0,00123772	11,0292651
455	Aguas Abajo	0,69644879	2,41E-05	0,99093398
456	Aguas Abajo	6,54006078	0,00253136	9,44034012
457	Aguas Abajo	10,3374227	3,22E-05	0,99066986
458	Aguas Abajo	9,90686073	6,15E-05	0,9910774
459	Aguas Abajo	9,47585238	5,80E-05	0,99162858
460	Aguas Abajo	8,79604228	2,25E-05	0,99183051
461	Aguas Abajo	7,65780101	0,00083486	0,99306558
462	Aguas Abajo	8,49098502	0,02489894	10,6364035
463	Aguas Abajo	5,17960291	0,00061189	0,99324343
464	Aguas Abajo	9,19583961	0,00428803	11,5093453
465	Aguas Abajo	8,83490834	0,0017587	10,9790973
466	Aguas Abajo	8,38007217	0,00165423	10,3827396
467	Aguas Abajo	7,25621617	0,00146434	8,91361428
468	Aguas Abajo	4,46971442	-0,07785356	8,99982419
469	Aguas Abajo	3,92249296	-0,07593367	8,10827097
470	Aguas Abajo	3,57479569	-0,0763696	7,70837144
471	Aguas Abajo	4,64606781	-0,07879891	1,20727966
472	Aguas Abajo	8,11641231	2,23E-05	0,98494033
473	Aguas Abajo	4,1312582	-0,07816493	1,1834557
474	Aguas Abajo	4,53684843	-7,99E-05	0,98679186
475	Aguas Abajo	4,13959378	-0,07860645	1,17242812
476	Aguas Abajo	7,01247321	-1,21E-05	0,98276296
477	Aguas Abajo	4,3345134	-0,07649071	1,16814551



478	Aguas Abajo	3,91625269	0,0003107	0,98546225
479	Aguas Abajo	3,92763641	-0,07767846	1,14786752
480	Aguas Abajo	4,00244248	-0,07708075	1,13931657
481	Aguas Abajo	10,4110415	-0,07717914	1,2268387
482	Aguas Abajo	9,52551771	-0,07740434	1,20161198
483	Aguas Abajo	9,70664957	-0,0786766	1,1900346
484	Aguas Abajo	10,1974684	-0,07827148	12,5198168
485	Aguas Abajo	9,5654547	-0,07517275	11,2397131
486	Aguas Abajo	8,40849834	-0,07779823	10,7185146
487	Aguas Abajo	11,6510674	7,36E-06	0,98661981
488	Aguas Abajo	8,74937067	-0,07216086	10,8785603
489	Aguas Abajo	6,2118866	0,00046164	0,98839416
490	Aguas Abajo	8,46732163	-0,07557096	10,3790843
491	Aguas Abajo	9,44890123	-0,07906482	12,2546004
492	Aguas Abajo	8,80406079	-0,07790891	0,99149703
493	Aguas Abajo	8,03619278	-0,07746601	9,93997942
494	Aguas Abajo	15,4181566	-0,07748511	12,1983785
495	Aguas Abajo	15,6686397	-0,15648616	12,5130198
496	Aguas Abajo	6,05360572	-6,84E-05	0,98807117
497	Aguas Abajo	8,35103049	-0,15646776	11,4784831
498	Aguas Abajo	7,4557502	-0,15704299	0,99312505
499	Aguas Abajo	6,86974853	-0,15228416	9,28806089
500	Aguas Abajo	7,71065064	-0,15761535	9,47093826