

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**“TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE ESTADO Y LA ESTIMACIÓN DE  
PARÁMETROS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA,  
PERÚ 2022”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**AUTORES:**

**GARRIAZO NUÑEZ, RAUL JHONATTAN**

**SALCEDO ROSALES, ERICK ROLLER**

**SEMINARIO PORTILLO, FELIX FRANCCESCO**

**ASESOR:**

**Dr. Ing. FERNANDO MENDOZA APAZA**

**Callao, 2022**

**PERÚ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**ACTA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL POR LA MODALIDAD DE**  
**TESIS SIN CICLO DE TESIS**

A los 23 días del mes de mayo del 2022 siendo las 18:00 Horas se reunió el Jurado Examinador de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica conformado por los siguientes Docentes Ordinarios de la Universidad Nacional del Callao, (RESOLUCIÓN DECANAL N° 052-2022-DFIEE)

Mg. Ing. JESSICA ROSARIO MEZA ZAMATA	Presidente
Mg. Lic. ANTENOR LEVA APAZA	Secretario
Dr. Lic. ADÁN ALMÍRCAR TEJADA CABANILLAS	Vocal

Con el fin de dar inicio a la exposición de Tesis de los señores Bachilleres **GARRIAZO NUÑEZ, RAÚL JHONATTAN; SALCEDO ROSALES, ERICK ROLLER y SEMINARIO PORTILLO, FELIX FRANCCESCO**, quienes habiendo cumplido con los requisitos para obtener el Título Profesional de Ingeniería Eléctrica tal como lo señalan los Arts. N° 12 al 15 del Reglamento de Grados y Títulos, sustentará la Tesis Titulada **“TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE ESTADO Y LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, PERÚ 2022”**, con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la exposición, considerando lo establecido en los Art. N° 14 y 17 del Reglamento de Grados y Títulos dado por Resolución N° 047-92-CU, en el Capítulo N° 06, corresponde al otorgamiento del Título Profesional con Tesis, efectuadas las deliberaciones pertinentes se acordó:

Dar por **APROBADO** Calificativo **BUENO** nota: **15** de los expositores Bachilleres **GARRIAZO NUÑEZ, RAÚL JHONATTAN; SALCEDO ROSALES, ERICK ROLLER y SEMINARIO PORTILLO, FELIX FRANCCESCO** con lo cual se dio por concluida la sesión, siendo las 18:55 horas del día del mes y año en curso.

Es copia fiel del folio N° 192 Del Libro de Actas de Sustentación de Tesis de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica – UNAC.



.....  
**PRESIDENTE**

Mg. Ing. JESSICA ROSARIO MEZA ZAMATA



.....  
**SECRETARIO**

Mg. Lic. ANTENOR LEVA APAZA



.....  
**VOCAL**

Dr. Lic. ADÁN ALMÍRCAR TEJADA CABANILLAS

## **HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN**

**PRESIDENTE : Mg. Ing. Jessica Rosario Meza Zamata**

**SECRETARIO : Mg. Lic. Antenor Leva Apaza**

**VOCAL : Dr. Lic. Adan Almírcar Tejada Cabanillas**

**ASESOR : Dr. Ing. Fernando Mendoza Apaza**

## **DEDICATORIA**

La presente investigación está dedicada a nuestros familiares, docentes y amigos que nos han brindado el soporte necesario a lo largo de nuestra formación universitaria.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a la Universidad Nacional del Callao por darnos la oportunidad de desarrollarnos profesionalmente y a nuestros docentes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica por los conocimientos compartidos.

## INDICE

RESUMEN.....	3
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.1. Realidad Problemática .....	5
1.2. Formulación del Problema .....	5
1.3. Objetivos .....	6
1.4. Justificación .....	6
1.5. Limitantes de la Investigación .....	7
II. MARCO TEORICO .....	8
2.2. Antecedentes: Internacionales y Nacionales .....	8
2.2. Bases Teóricas .....	11
2.3. Teorías relacionadas con el tema.....	28
2.4. Definición de Términos básicos.....	29
III. HIPOTESIS .....	30
3.1. Hipótesis.....	30
3.2. Definición Conceptual de Variables .....	31
3.2.1. Operacionalizacion de Variables .....	31
IV. DISEÑO METODOLOGICO .....	32
4.1. Tipo y diseño de Investigación .....	32
4.2. Método de Investigación.....	33
4.3. Población y muestra.....	33
4.4. Lugar de Estudio .....	34
4.5. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de la Información, Validez y Confiabilidad .....	34
4.6. Análisis y procesamiento de Datos .....	36
4.7. Aspectos Éticos.....	36
V. RESULTADOS.....	37
VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	59
VII. CONCLUSIONES .....	60
VIII.RECOMENDACIONES .....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
IX. ANEXOS.....	62
8.1. Matriz de Consistencia .....	62

## RESUMEN

A medida que aumenta la demanda de energía eléctrica y se expanden los sistemas eléctricos de potencia, las soluciones para mantener el suministro de energía eléctrica siguen la trilogía de continuidad, calidad y economía de servicio (Yáñez Rojas, 2020) por lo que existe la necesidad de desarrollar e implementar un método para la estimación de estado en los sistemas eléctricos. El proceso de Estimación de Estado (EE) es la base de todos los estudios realizados en los centros de control de energía (CCEs) ya que las mediciones de los parámetros que se hacen a larga distancia irremediablemente llegan al concentrador de datos del CCE contaminadas con ruido aleatorio. (González Carrillo, 2017), por ello se han desarrollado diferentes técnicas para la optimización del estimador de estado.

Una de las aplicaciones más importantes del proceso de modernización de los CCEs existentes es el estimador de estado, donde dicha innovación consiste en la integración de unidades de medición fasorial (PMUs por sus siglas en Inglés) a los esquemas de medición existentes (González Carrillo, 2017). Las Unidades de Medición Fasorial (Phasor Measurement Unit, PMU), que realizan la medición de tensiones, corrientes y frecuencia en tiempo real. (Aceitón Román, 2018) Las PMU son dispositivos de medición fasorial con capacidad de tomar datos entre 30 y 60 veces por segundo en sistemas de 60 Hz, a diferencia de otros equipos de medición que muestrean 4 a 6 veces por segundo para un sistema similar (Forero Rodriguez, 2021). Otro método sería la estimación de parámetros, que es importante debido a que brinda valores más precisos en los parámetros, lo que conduce a la mejoría de resultados en el estimador de estado y en aplicaciones como análisis de seguridad, despacho económico (Olarte Dussán, y otros, 2010) y puede determinar la forma en que se va a desempeñar el sistema de transmisión (Trelles Vilcamasco, 2018).

Por lo tanto, esta tesis se centra en el problema de estimar los parámetros de algunas líneas de transmisión para obtener mejores valores de parámetros de línea y así conseguir mejores resultados del estimador de estado los cuales como se ha estado escribiendo, son el Punto de partida de las diversas funciones de aplicación que tiene un sistema de gestión de energía (Vidal León Romay, 2016).

## **ABSTRACT**

As the demand for electrical energy increases and electrical power systems expand, the solutions to maintain the supply of electrical energy follow the trilogy of continuity, quality and economy of service (Yáñez Rojas, 2020) so there is a need to develop and implement a method for estimating state in electrical systems. The State Estimation (EE) process is the basis of all the studies carried out in the energy control centers (CCEs) since the measurements of the parameters that are made over long distances inevitably reach the CCE data concentrator. It is the basis of all the studies carried out in the energy control centers (CCEs) since the measurements of the parameters that are made at long distance inevitably reach the CCE data concentrator contaminated with random noise. (González Carrillo, 2017), therefore, different techniques have been developed for the optimization of the state estimator and in applications such as security analysis, economic dispatch (Olarde Dussán, et al., 2010) and can determine the way in which the transmission system will be performed (Trelles Vilcamasco, 2018). Therefore, this thesis focuses on the problem of estimating the parameters of some transmission lines to obtain better values of line parameters and thus achieve better results of the state estimator which as has been written, are the starting point of the various application functions that an energy management system has (Vidal León Romay, 2016).

# **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1. Realidad Problemática**

El estado de los sistemas eléctricos de potencia es estimado a partir del estimador de estado el cual usa un conjunto de datos de mediciones y datos de parámetros de red, por lo tanto, el desempeño del estimador depende de la precisión de las mediciones (Vidal León Romay, 2016). Estos estudios vienen revestidos de una gran importancia porque les otorgan confiabilidad a todas las mediciones de un sistema eléctrico de potencia (Sacasqui Huaito, 2014), si se lleva a cabo la estimación de estado con valores incorrectos de parámetros de la línea, el operador puede considerar que el sistema se encuentra en condiciones estables cuando realmente no lo está, lo que puede hacer que una parte o hasta el sistema de forma íntegra puede entrar a un estado de emergencia, aislando áreas e incluso desconectando elementos de la red (Trelles Vilcamasco, 2018).

De lo acontecido es que nos preguntamos cómo, de qué manera la estimación de estado se correlaciona con la estimación de parámetros de las líneas de transmisión eléctrica, es por ello que formulamos el siguiente problema de investigación.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

P.G.1 ¿Cuál es la relación entre las técnicas de estimación de estado y la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

P.E.1. ¿cuál es la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022?

P.E.2. ¿Cómo evaluar la capacidad de las mediciones fasoriales y su relación con la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022?

P.E.3. ¿cuál es el método que valide las técnicas de estimación de estado y la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar la relación entre las técnicas de estimación de estado y la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

O.E.1 Identificar la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022

O.E.2 Evaluar la capacidad de las mediciones fasoriales y su relación con la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022

O.E.3 Desarrollar un método que valide las técnicas de estimación de estado y la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022

### **1.4. Justificación**

#### **Justificación Teórica**

Según **(Hernández, 2015)** Indica que “La justificación teórica se hace cuando el propósito del estudio es generar reflexión y debate académico sobre el conocimiento existente, confrontar una teoría, contrastar resultados, hacer epistemología del conocimiento existente o cuando se busca mostrar las soluciones de un modelo.

De lo expuesto por el autor, el presente proyecto de investigación tiene una justificación teórica pues permitirá analizar el uso de distintas técnicas de estimación de estado que se utilizarán para limpiar los datos de medición y como se correlaciona con la estimación de parámetros.

#### **1.4.2. Justificación Práctica**

Según **(Bernal, 2012)** Indica que “la justificación práctica, se debe de hacer cuando el desarrollo de la investigación ayuda a resolver un problema o por lo menos, propone estrategias que al aplicarse contribuirían a resolverlo.”

De lo expuesto por el autor, el presente trabajo de investigación nos permitirá determinar la influencia de la estimación de estado en la estimación de parámetros en las líneas de transmisión.

### **1.4.3. Justificación Metodológica**

Según (Bernal, 2012) “la justificación metodológica del estudio se da cuando el proyecto que se va a realizar propone un nuevo método o una nueva estrategia para generar conocimiento valido y confiable”

De lo expuesto por el autor, el presente trabajo de investigación tiene una justificación metodológica, ya que se propone nueva estrategia en la ejecución de la estimación de estados con un procedimiento que genera una mayor precisión al momento de evaluar el estado actual.

## **1.5. Limitantes de la Investigación**

### **1.5.1. Límites de la Investigación**

Según (Ávila, 2001), “Una limitación de la investigación consiste en que se deja de estudiar un aspecto del problema debido por alguna razón. Con esto se quiere decir que toda limitación debe estar justificada por una buena razón. “

De lo expuesto por el autor, el trabajo de investigación se delimita en investigar técnicas que se fundamentan en la teoría de identificación de sistemas para estimar los parámetros de las líneas de transmisión en un sistema de potencia.

### **1.5.2. Delimitaciones de la Investigación**

Según (Sabino, 1986), “La delimitación habrá de efectuarse en cuanto al tiempo y el espacio, para situar nuestro problema en un contexto definido y homogéneo. “

De lo expuesto por el autor, mis delimitaciones son las siguientes:

#### **Delimitación Espacial**

La delimitación espacial de mi proyecto de investigación son los documentos de proyectos de distribución eléctrica ejecutados, que comprende las zonas rurales.

#### **Delimitación Temporal**

El presente trabajo de investigación se está realizando en el mes de febrero del 2022 y tendrá una duración de 6 meses en los cuales se considerará en la investigación llegar a estimar la mayor cantidad de parámetros de la red de Transmisión.

#### **Delimitación Social**

En el presente trabajo de investigación se está analizando estimación de estado y su correlación con la estimación de parámetros en las líneas de transmisión para beneficiar en la operación de mercados de energía.

## **II. MARCO TEORICO**

### **2.2. Antecedentes: Internacionales y Nacionales**

#### **ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

Según (Vidal León Romay, 2016) en su trabajo de investigación titulado “ESTIMACIÓN DE PARAMETROS DE LINEAS DE TRANSMISION EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA” para la obtención de su grado de maestro en ciencias en ingeniería eléctrica, que tuvo como objetivo desarrollar un algoritmo para la estimación de parámetros de línea de transmisión que procese un conjunto de mediciones del sistema eléctrico de potencia, use la formulación de mínimos cuadrados ponderados y además que incluye el análisis de robustez numérica, el proceso de detección de datos erróneos y el cálculo de intervalos de confianza e indicadores de precisión de los parámetros estimados, utilizando una metodología que lee los datos del sistema eléctrico de potencia (SEP) y los resultados del estudio del flujo de potencia que corresponde a la mediciones ideales del SEP y luego perturbar los resultados del estudio de flujos con errores de hasta un  $\pm 2\%$  con una distribución normal, finalmente en este trabajo se recomendó utilizar algún método numéricamente robusto para evitar el mal condicionamiento de matrices debido a las mediciones de inyecciones cero en los nodos de paso del SEP.

De lo expuesto por el autor, es importante reconocer que se debe desarrollar un algoritmo para la estimación de parámetros de línea de transmisión que procese un conjunto de mediciones del sistema eléctrico de potencia, este hecho me permite tomar referencia para el estudio de mi variable. “estimación de parámetros”.

Según (Forero Rodriguez, 2021) en su trabajo de investigación titulado “Estimador de estado con Unidad de Medición Fasorial (PMU) virtual en GridTeractions” para la obtención de su título de ingeniero eléctrico, que tuvo como objetivo Implementar un estimador de estado que haga uso de mediciones obtenidas a partir de simulación en GridTeractions con base en PMU virtual, utilizando una metodología que utiliza las simulaciones en la plataforma GridTeractions, que son desarrolladas en un script de Python y administradas con el programa Typhoon HIL Control Center, lo que permite ejecutar simulaciones en series de tiempo y obtener resultados en dominio de fase, para facilitarle al usuario la evaluación de las variables eléctricas, finalmente en este trabajo se recomendó cumplir con los requerimientos a la hora de adquirir un equipo para mantener la subestación vigente a lo largo del tiempo.

De lo expuesto por el autor, es importante reconocer que se debe implementar un estimador de estado que haga uso de mediciones obtenidas a partir de simulación en GridTeractions con base en PMU virtual, este hecho me permite tomar referencia para el estudio de mi variable. “estimador de estado”.

Según (Aceitón Román, 2018) en su trabajo de investigación titulado “Estimación de Capacidad Dinámica de Líneas de Transmisión utilizando Unidad de Medición Fasorial (PMU)” para la obtención de su título de Ingeniero Civil Electricista, que tuvo como objetivo proponer una metodología a través de un modelo que permita estimar de forma dinámica la capacidad de líneas de transmisión utilizando los datos proporcionados por las unidades de Medición Fasorial, utilizando una metodología que se adecuó a la configuración de las unidades fasoriales instaladas en sistema eléctrica nacional utilizando la adquisición de datos a través de las PMU y con una adecuada modelación obtiene, la impedancia de la línea y la estimación de la resistencia, finalmente en este trabajo se recomendó el análisis de una disposición distinta, es decir, de dos PMU’s en los extremos de una línea, podría conseguir de forma directa los parámetros eléctricos del conductor.

De lo expuesto por el autor, es importante reconocer que se debe desarrollar un modelo que permita estimar de forma dinámica la capacidad de líneas de transmisión utilizando los datos proporcionados por las unidades de Medición Fasorial, este hecho me permite tomar referencia para el estudio de mi variable. “estimación de estado”.

Según (González Carrillo, 2017) en su trabajo de investigación titulado “ESTIMACIÓN DE ESTADO DE SISTEMAS DE POTENCIA CONSIDERANDO MEDICIONES SCADA Y PMU” para la obtención de su título de Ingeniero Electricista, que tuvo como objetivos formular un esquema de medición híbrido (mediciones SCADA y mediciones PMU (unidades de medición fasorial)) adecuado para un algoritmo de estimación de estado basado en el método de mínimos cuadrados ponderados (MCP) y desarrollar la metodología para implementar un modelo matemático del dispositivo PMU dentro del algoritmo de Estimación de Estado de MCP, utilizando una metodología que presenta la formulación de mediciones PMU en forma rectangular en sistemas de potencia y su implementación práctica en un estimador de estado desarrollado en MATLAB, finalmente en este trabajo se recomendó la implementación del modelo matemático de los dispositivos PMU dentro de un algoritmo de estimación de estado basado en la técnica de mínimos cuadrados ponderados.

De lo expuesto por el autor, es importante reconocer que se debe formular un esquema de medición híbrido (mediciones SCADA y mediciones PMU adecuado para un algoritmo de estimación de estado, este hecho me permite tomar referencia para el estudio de mi variable. “estimación de estado”.

## **ANTECEDENTES NACIONALES**

Según (Trelles Vilcamasco, 2018) en su trabajo de investigación titulado “METODOLOGÍA PARA DETERMINAR PARÁMETROS DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN UTILIZANDO TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE ESTADO” para la obtención de su título de Ingeniero Eléctrico, que tuvo como objetivo desarrollar una metodología de estimación de parámetros de líneas de

transmisión que considere mediciones de campo y utilice técnicas de estimación de estado, utilizando una metodología en la que inicialmente recopiló información del modelamiento de la línea de transmisión, luego delimitó los métodos para estimar los parámetros de líneas y por último elaboró la metodología de estimación de parámetros de líneas de transmisión finalmente en este trabajo se recomendó para resultados de mayor precisión de los parámetros de línea de una línea no traspuesta usar una combinación de ambos métodos de estimación, existente y propuesto.

De lo expuesto por el autor, es importante reconocer que se debe desarrollar una metodología de estimación de parámetros de líneas de transmisión que considere mediciones de campo y utilice técnicas de estimación de estado, este hecho me permite tomar referencia para el estudio de mi variable. “estimación de parámetros”.

Según (Sacasqui Huaito, 2014) en su trabajo de investigación titulado “IMPLEMENTACIÓN Y DISEÑO DE UN ESTIMADOR DE ESTADO PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA DE AREQUIPA, VALIDACIÓN” para la obtención de su Título Profesional de Ingeniero Electricista, que tuvo como objetivo diseñar e Implementar un Estimador de Estado para el sistema eléctrico de Potencia de Arequipa, utilizando una metodología exploratoria, ya que por el momento no se dispone de información detallada acerca de la importancia de los estimadores de estado, así como de los posibles usos en centros de control de carga de Arequipa, finalmente en este trabajo se recomendó para asegurar un óptimo funcionamiento del estimador de estado situar todos los medidores existentes en los puntos que correspondan, dado que a más mediciones se podrá detectar y eliminar más fácilmente aquellas malas.

De lo expuesto por el autor, es importante reconocer que se debe obtener información detallada de los estimadores de estado para su uso en los centros de control, este hecho me permite tomar referencia para el estudio de mi variable. “estimación de estado”.

Según (Alarcon Monteza, 2021) en su trabajo de investigación titulado “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL EN TIEMPO REAL PARA EL ANÁLISIS PREDICTIVO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA” para la obtención de su Título Profesional de Ingeniero de la Energía, que tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema eléctrico de potencia con generación distribuida estableciendo el monitoreo y control de los parámetros eléctricos en tiempo real para evaluar su comportamiento con análisis predictivo, utilizando una metodología que pronostica el comportamiento de una red de distribución interconectada con generación distribuida, finalmente en este trabajo se recomendó implementar un Sistema Eléctrico de Potencia con Generación

Distribuida real (escala de laboratorio), integrando fuentes de energías renovables no convencionales en una red.

De lo expuesto por el autor, es importante reconocer que se debe tener altos niveles de confiabilidad en los parámetros eléctricos, este hecho me permite tomar referencia para el estudio de mi variable. “estimación de parámetros”.

## 2.2. Bases Teóricas

### REPRESENTACION DE UNA LINEA TRANSPUESTA

Las líneas transpuestas generalmente se representan utilizando solo cantidades de secuencia positiva. Para lograr obtener las cantidades de secuencia por fase, las cantidades que se presentan para el modelo pi requieren ser convertidas a cantidades de secuencia.

Para llevar a cabo la transformación de estas cantidades a las de secuencia se necesita utilizar la matriz de transformación para componentes simétricas .

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{Donde: } a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

A continuación, se muestran las relaciones entre los voltajes y corrientes de fase y los voltajes y corrientes de secuencia, tal como se puede observar en la ecuación:

$$\begin{aligned} V_{012}^S &= A^{-1}V_{abc}^S & V_{012}^R &= A^{-1}V_{abc}^R \\ I_{012}^S &= A^{-1}I_{abc}^S & I_{012}^R &= A^{-1}I_{abc}^R \end{aligned} \quad (2)$$

Donde:

$$V_{012}^S = \begin{bmatrix} V_0^S \\ V_1^S \\ V_2^S \end{bmatrix} \quad V_{012}^R = \begin{bmatrix} V_0^R \\ V_1^R \\ V_2^R \end{bmatrix} \quad I_{012}^S = \begin{bmatrix} I_0^S \\ I_1^S \\ I_2^S \end{bmatrix} \quad I_{012}^R = \begin{bmatrix} I_0^R \\ I_1^R \\ I_2^R \end{bmatrix}$$

También se presentan las relaciones de impedancias y admitancias por fase y las impedancias y admitancias de secuencia en la relación (3). Tal como se puede observar los elementos diagonales son las impedancias y admitancias propias de secuencia y los elementos fuera de la diagonal son las impedancias y admitancias mutuas entre secuencias.

$$Z_{012} = A^{-1}Z_{abc}A$$

$$Y_{012} = A^{-1}Y_{abc}A$$

Donde:

(3)

$$Z_{012} = \begin{bmatrix} Z_0 & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{01} & Z_1 & Z_{12} \\ Z_{02} & Z_{12} & Z_2 \end{bmatrix}$$

$$Y_{012} = j \begin{bmatrix} B_0 & B_{01} & B_{02} \\ B_{01} & B_1 & B_{12} \\ B_{02} & B_{12} & B_2 \end{bmatrix}$$

Para una línea de transmisión totalmente transpuesta, la matriz de impedancia de fase tiene una característica tal que todos los términos de la diagonal son iguales, así mismo todos los términos fuera de la diagonal son iguales. La matriz de admitancia de fase tiene las mismas características. Cuando se aplica la transformación de secuencia a estas matrices, el resultado es matrices de secuencia que consisten solo de términos diagonales. La transformación entre cantidades de fase y de secuencia de una línea transpuesta se muestra a continuación.

$$Z_{abc} = \begin{bmatrix} Z_{self} & Z_{mutual} & Z_{mutual} \\ Z_{mutual} & Z_{self} & Z_{mutual} \\ Z_{mutual} & Z_{mutual} & Z_{self} \end{bmatrix} \rightarrow Z_{012} = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix}$$

$$Y_{abc} = j \begin{bmatrix} B_{self} & B_{mutual} & B_{mutual} \\ B_{mutual} & B_{self} & B_{mutual} \\ B_{mutual} & B_{mutual} & B_{self} \end{bmatrix} \rightarrow Y_{012} = j \begin{bmatrix} B_0 & 0 & 0 \\ 0 & B_1 & 0 \\ 0 & 0 & B_2 \end{bmatrix}$$

Este tipo de transformación implica que las cantidades de secuencia se encuentran totalmente desacopladas, esto significa que la tensiones y corrientes de secuencia se determinan gracias a las cantidades de impedancia y admitancia respectivamente. Estas simplificaciones obtenidas debido a la transformación de fase a componentes de secuencia permiten representar una línea totalmente transpuesta utilizando solo cantidades de secuencia positiva en la figura 1 se presenta el modelo pi para líneas transpuestas.

### **ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE LA LÍNEA A PARTIR DE MEDICIONES DE SINCRÓFASORES**

Los métodos utilizados para estimar parámetros de la línea a partir de mediciones de sincrofases se pueden dividir en dos categorías: métodos de líneas transpuestas y métodos de líneas no transpuestas. Ambos tipos de métodos utilizan el modelo de línea de transmisión pi nominal para encarar el problema de estimación.

Para los métodos de línea transpuestos, los parámetros son la impedancia de secuencia positiva y susceptancia. Para los métodos de línea no transpuestas, los parámetros son las entradas de impedancia de fase y matrices de admitancia. El número de parámetros para cada uno de los cambios de método en función de si la estimación se realiza en el dominio real o compleja. Esta diferencia surge del hecho de que, en el dominio real, las partes real e imaginaria (resistencia y reactancia) de las cantidades de impedancia cuentan como un parámetro desconocido separada.

En el dominio complejo, los métodos de línea transpuestos tienen dos parámetros desconocidos y métodos de línea no transpuestas tienen 12. En el dominio real, los métodos de línea

transpuestos tienen tres parámetros desconocidos y métodos de línea no transpuestas tienen 18. Los parámetros desconocidos para cada caso se enumeran en la tabla 1.

	Complex Domain	Real Domain
Transposed Line	$Z_1, Y_1$	$R_1, X_1, B_1$
Untransposed Line	$Z_x, Y_x$ (x=a,b,c,ab,ac,or bc)	$R_x, X_x, B_x$ (x=a,b,c,ab,ac,or bc)

Parámetros desconocidos en los métodos de estimación Fuente: An LFT/SDP approach to the uncertainty analysis for state estimation of water distribution systems – Powel

## UNIDADES DE MEDICIÓN FASORIAL

Una unidad de medición fasorial (PMU, del inglés Phasor Measurement Unit) es un dispositivo tecnológico que permite realizar, con gran precisión y velocidad, el análisis dinámico del estado de un sistema eléctrico de transmisión y distribución. La característica distintiva es que permite calcular los fasores de tensiones y corrientes de forma sincronizada con una referencia temporal global precisa, lo cual posibilita, a su vez, hacer comparaciones entre fasores medidos en diferentes puntos de la red. Para comprender cómo los sincrofasores pueden mejorar la operación y planificación de la red, es fundamental entender primero el concepto de fasor. Un fasor es un número complejo que representa tanto la magnitud como fase angular, de las formas de onda sinusoidal de tensión y corriente, en un momento específico de tiempo.

En cambio, un sincrofasor es el resultado del cálculo de un fasor con respecto a una referencia absoluta de tiempo. Con este cálculo es posible determinar la relación angular absoluta entre fasores en distintos puntos del sistema eléctrico.

Una PMU adquiere las magnitudes instantáneas de tensión y corriente y, a partir de ellas, calcula tanto los fasores de tensión y corriente como otros parámetros de interés: frecuencia, tasa de cambio de frecuencia (ROCOF, del inglés Rate of Change of Frequency) y fase angular. Cada medición fasorial se marca temporalmente en relación con el sistema de posicionamiento global GPS, convirtiéndola, en consecuencia, en un sincrofasor.

- Esto permite que las mediciones tomadas por las PMU en diferentes ubicaciones se sincronicen y se ajusten en el tiempo, y luego se combinen para proporcionar una imagen precisa y completa del estado de un sistema eléctrico o una interconexión de estos.
- La comparación de sincrofasores entre diferentes puntos de un sistema eléctrico es una manera efectiva de detectar problemas en este. Si bien es común que los términos PMU y sincrofasor se utilicen indistintamente, representan dos significados técnicos distintos.
- Un sincrofasor es el resultado de un cálculo a partir de las magnitudes medidas, mientras que la PMU es el dispositivo de medición.
- Las PMU entregan datos en intervalos de tiempo cortos, típicamente entre 25 y 50 veces por segundo, significativamente más rápido que la tecnología convencional del sistema de control y adquisición de datos (SCADA, del inglés Supervisory Control and Data

Acquisition), que tienen una tasa de datos de cuatro a seis segundos. Por lo tanto, la tasa de datos más alta de una PMU puede poner en evidencia una dinámica del sistema que no sería aparente con un SCADA.

- El despliegue de PMU en la red eléctrica facilita la búsqueda de soluciones innovadoras a los problemas tradicionales de las compañías eléctricas y ofrece a los encargados de gestionar los sistemas de distribución numerosas ventajas potenciales, entre las que se destacan las siguientes:
- Con la implementación de PMU se busca tener un mayor conocimiento del estado de una red o una interconexión en tiempo real. Esto permitirá a los operadores del sistema eléctrico determinar y reaccionar ante problemas emergentes que afecten la calidad del servicio y el producto, de manera veloz y precisa.
- Cálculo de parámetros de línea de manera precisa. Tradicionalmente la impedancia de las líneas de transmisión suele calcularse a partir de las características geométricas y eléctricas de los conductores que las conforman. En dicho cálculo se realizan aproximaciones que conllevan a errores en el resultado. En cambio, los parámetros de impedancia de una línea de transmisión se pueden calcular usando una PMU en cada terminal de la línea, lo que permite eliminar las fuentes de error. La PMU calcula los sincrofasores de tensión y corriente en los terminales, de esta forma se pueden computar los parámetros de línea en forma precisa.
- Posibilidad de hacer estimaciones precisas sobre el estado del sistema a intervalos frecuentes y sincronizados con una única referencia temporal, lo que permite monitorear fenómenos dinámicos desde un lugar central y tomar medidas de control apropiadas.
- Mejoramiento del análisis posterior a las perturbaciones, ya que la sincronización con el sistema GPS permite obtener información precisa del estado del sistema en cualquier instante de interés.

## MÉTODOS EXISTENTES PARA LÍNEAS TRANSPUESTAS

Existen numerosos métodos que estiman los parámetros de línea de las líneas transpuestas. Todos estos métodos utilizan el modelo de pi nominal para las líneas transpuestas.

### Método de Medición individual

El método de medición única se propone en y es el más simple de todos los métodos de línea transpuestas. Como su nombre indica, sólo se requiere un conjunto de mediciones PMU para su implementación. Este método se aplica KVL y KCL al modelo pi nominal para la transposición líneas. Se producen las siguientes ecuaciones.

$$V_1^S - V_1^R = Z \left[ \frac{1}{2} Y (V_1^R) + I_1^R \right] \quad (4)$$

$$I_1^S - I_1^R = \frac{1}{2} Y [V_1^S + V_1^R]$$

Reordenando la ecuación se obtiene una expresión para Y. Esta expresión es dada por la ecuación (6), sustituyendo la ecuación (6) en la ecuación (4) se obtiene una expresión para Z. Esta expresión está dada por la ecuación 7.

$$Y = 2 \left[ \frac{I_1^S - I_1^R}{V_1^S + I_1^R} \right] \quad (6)$$

$$Z = \frac{(V_1^S)^2 - (V_1^R)^2}{I_1^R V_1^S + I_1^S V_1^R} \quad (7)$$

### Método de medición Doble

El método de medición doble fue desarrollado por los autores A. S. Debs. En este método, dos conjuntos de mediciones únicas PMU se utilizan para estimar los parámetros ABCD de una línea transpuesta. ABCD (o cadena) parámetros se relacionan las cantidades de extremo de envío y recepción de un modelo de línea de transmisión de dos puertos. Cada parámetro ABCD es un único número complejo y depende de los parámetros de la línea de transmisión.

En las ecuaciones (8) y (9),  $V_1^S e^{1\frac{S}{1}}$  se presentan en términos de  $V_1^R e^{1\frac{R}{1}}$

$$V_1^S = V_1^R + \frac{1}{2}YZV_1^R + ZI_1^R \quad (8)$$

$$I_1^S = YV_1^R + \frac{1}{4}Y^2ZV_1^R + I_1^R + \frac{1}{2}YZI_1^R \quad (9)$$

Sustituyendo los coeficientes de  $v_f$  el  $f$ , se originan las ecuaciones en forma de ABCD . Estas ecuaciones se presentan en (10) y (11) y la forma matricial se da en (12):

$$V_1^S = AV_1^R + BI_1^R \quad (10)$$

$$I_1^S = CV_1^R + DI_1^R \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} V_1^S \\ I_1^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^R \\ I_1^R \end{bmatrix}$$

A partir de estas ecuaciones, se hacen las siguientes observaciones:

El parámetro A se refiere el voltaje extremo de envío a la tensión de extremo de recepción

El parámetro B se refiere el voltaje extremo de envío de la corriente extremo de recepción

El parámetro C se refiere la corriente extremo de envío a la tensión de extremo de recepción

El parámetro D se refiere la corriente extremo de envío a la corriente extremo de recepción.

Comparando las ecuaciones (8) y (9) con las ecuaciones (10) y (11), se observan las siguientes equivalencias:

$$A = 1 + \frac{1}{2}YZ \quad (13)$$

$$B=Z \quad (14)$$

$$C = Y \left[ 1 + \frac{1}{4}YZ \right] \quad (15)$$

$$D = 1 + \frac{1}{2}YZ \quad (16)$$

Cada conjunto de mediciones PMU utilizada por el método de mediciones doble producir dos ecuaciones que tienen la forma de (12). Las cuatro ecuaciones resultantes reordenan y se representan en forma de matriz por (17). En esta matriz, un "1" subíndice indica que una medición pertenece a la primera serie de medición. A "2" subíndice indica que una medición pertenece al segundo conjunto de medición.

$$\begin{bmatrix} V_{11}^R & I_{11}^R & 0 & 0 \\ 0 & 0 & V_{11}^R & I_{11}^R \\ V_{12}^R & I_{12}^R & 0 & 0 \\ 0 & 0 & V_{12}^R & I_{12}^R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{11}^S \\ I_{11}^S \\ V_{12}^S \\ I_{12}^S \end{bmatrix} \quad (17)$$

En esta etapa, se aplica el método de Cramer a (17) para resolver los parámetros ABCD. Método Cramer produce las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{V_{12}^S I_{11}^R - V_{11}^S I_{12}^R}{det} \quad (18)$$

$$B = \frac{V_{11}^S V_{12}^R - V_{11}^R V_{12}^S}{det} \quad (19)$$

$$C = \frac{I_{12}^S I_{11}^R - I_{11}^S I_{12}^R}{det} \quad (20)$$

$$det = V_{12}^R I_{11}^R - V_{11}^R I_{12}^R \quad (21)$$

Las expresiones para Z y Y basado en las ecuaciones (13) - (16) es como sigue:

$$Z=B \quad (22)$$

$$Y = \frac{2(A-1)}{B} \quad (23)$$

## OTROS MÉTODOS

Existen métodos más complejos para determinar los parámetros de línea de una línea transpuesta. Esta sección resume estos métodos y proporciona referencias donde más información se puede encontrar.

$$I_1^R = \frac{1}{Z} [V_1^S - V_1^R] - \frac{1}{2} Y V_1^R \quad (24)$$

$$I_1^S = \frac{1}{Z} [V_1^S - V_1^R] + \frac{1}{2} Y V_1^S \quad (25)$$

Las ecuaciones (24) y (25) son ecuaciones complejas con un total de dos incógnitas (Los valores de Y y Z). Estas ecuaciones se pueden escribir en forma matricial y se pueden disponer de tal manera que se formule el problema de cuadrados mínimos, Cuando se disponen de múltiples mediciones se podrán estimar los dos parámetros incógnitos.

## Método de medición múltiple utilizando mínimos cuadrados lineales # 2

Observando las ecuaciones (6) y (7), Vemos que estos son dos ecuaciones complejas con un total de cuatro parámetros desconocidos complejos (los valores de A, B, C, y D). Este método se expande estas ecuaciones complejas en cuatro ecuaciones reales con un total de ocho

parámetros desconocidos reales (las partes reales e imaginarias de A, B, C, y D). Las cuatro ecuaciones reales se escriben en formato de matriz y dispuestas de tal manera a establecer un menos problema cuadrados. Cuando múltiples mediciones PMU están disponibles, los ocho parámetros desconocida pueden ser estimados, las ecuaciones (18) y (19) a continuación, puede ser utilizado para calcular los parámetros de la línea una vez que se conocen los parámetros ABCD.

#### **Método de medición múltiple utilizando mínimos cuadrados no lineales**

Observando las ecuaciones(4) y (5), vemos que se trata de dos ecuaciones complejas con un total de dos parámetros desconocidos complejos (los valores de Z y Y). Este método expande estas ecuaciones complejas en cuatro ecuaciones de valores reales con un total de tres parámetros incógnitas (las partes real e imaginaria de Z y la parte imaginaria de Y). Las cuatro ecuaciones reales se escriben en formato de matriz y dispuestas de tal manera a establecer un lineal problema no de mínimos cuadrados. Cuando múltiples mediciones PMU están disponibles, los tres parámetros desconocidos pueden ser estimados. Este método requiere la construcción de una matriz jacobiana y una aproximación inicial para los valores de parámetro.

#### **Método de medición múltiple utilizando mínimos cuadrados no lineales**

Observando las ecuaciones (8) y (9), vemos eso que son dos ecuaciones complejas con un total de dos parámetros desconocidos los valores de este método expanden estas ecuaciones complejas en cuatro ecuaciones de valores reales con un total de tres parámetros incógnitas (las partes real e imaginaria de Z y la parte imaginaria de Y). Las cuatro ecuaciones reales que se crearon son no lineales y expresan las partes real e imaginaria de la tensión de extremo emisor y actual. Pueden estar dispuestos para producir un conjunto de cuatro funciones objetivo. El uso de una sola medición, se aplica el método de Newton-Raphson a las funciones para resolver para los parámetros desconocidos. Se debe formar el Jacobiano usando las derivadas parciales de la función objetivo y proporcionar una aproximación inicial para los valores de parámetro.

#### **METODO EXISTENTE PARA LINEAS TRANSPUESTAS**

Como se mencionó, la mayor parte de las líneas de transmisión que comprometen los sistemas de energía de hoy no se han transpuesto. Esto significa que los métodos de línea transpuestos presentados en la sección anterior sólo se pueden aplicar en un número limitado de casos.

Para abordar esta cuestión, se requieren métodos de línea no se ha adaptado. Durante la revisión de la literatura, sólo se encontró un método de línea no traspuesta. Este método es presentado por Di Shi en las referencias [7] y [13].

El método existente utiliza múltiples mediciones y mínimos cuadrados ordinarios para estimar los parámetros de la línea de transmisión desconocidos directamente. La derivación del método comienza aplicando KVL y KCL a la pi- modelo nominal. KVL y KCL producen el siguiente conjunto de ecuaciones.

$$V_{abc}^S - V_{abc}^R = Z_{abc} \left[ \frac{1}{2} Y_{abc} V_{abc}^R + I_{abc}^R \right] \quad (26)$$

$$I_{abc}^S - I_{abc}^R = Y_{abc} [V_{abc}^S + V_{abc}^R] \quad (27)$$

Cuando se expande, las ecuaciones (26) y (27) producen seis ecuaciones complejas. El conjunto de ecuaciones producido por (26) no son lineales. Esto es porque las matrices de parámetros desconocidos se multiplican por el uno al otro. Con el fin de hacer que las ecuaciones lineales, multiplicamos ellos por la inversa de la matriz de impedancia de fase. La inversa se expresa por la ecuación (28).

$$Y_p = Z_{abc}^{-1}$$

$$Y_p = \begin{bmatrix} y_a & y_{ab} & y_{ac} \\ y_{ab} & y_b & y_{bc} \\ y_{ac} & y_{bc} & y_c \end{bmatrix} \quad (28)$$

La forma linealizada:

$$Y_p = [V_{abc}^R - V_{abc}^R] = \frac{1}{2} Y_{abc} V_{abc}^R + I_{abc}^R \quad (29)$$

Expresando las ecuaciones (29) y (27) en formato de matriz, se tiene:

$$\begin{bmatrix} y_a & y_{ab} & y_{ac} \\ y_{ab} & y_b & y_{bc} \\ y_{ac} & y_{bc} & y_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_a \\ \Delta V_b \\ \Delta V_c \end{bmatrix} = j \frac{1}{2} \begin{bmatrix} B_a & B_{ab} & B_{ac} \\ B_{ab} & B_b & B_{bc} \\ B_{ac} & B_{bc} & B_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a^R \\ V_b^R \\ V_c^R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_a^R \\ I_b^R \\ I_c^R \end{bmatrix} \quad (30)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta l_a \\ \Delta l_b \\ \Delta l_c \end{bmatrix} = j \frac{1}{2} \begin{bmatrix} B_a & B_{ab} & B_{ac} \\ B_{ab} & B_b & B_{bc} \\ B_{ac} & B_{bc} & B_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum V_a \\ \sum V_b \\ \sum V_c \end{bmatrix} \quad (31)$$

Donde:

$$\Delta V_x = V_x^S - V_x^R$$

$$\Delta l_x = l_x^S - l_x^R$$

$$\sum V_x = V_x^S + V_x^R$$

X=a,b,or c

De la expansión de ecuaciones (30) y (31) se obtienen las siguientes seis ecuaciones complejas:

$$Y_a \Delta V_a + y_{ac} V_b + y_{ac} V_c = j \frac{1}{2} [B_a V_a^R + B_{ab} V_b^R + B_{ac} V_c^R] + I_a^R \quad (32)$$

$$Y_{ab} \Delta V_a + y_b V_b + y_{bc} V_c = j \frac{1}{2} [B_{ab} V_a^R + B_b V_b^R + B_{bc} V_c^R] + I_b^R \quad (33)$$

$$Y_{ac} \Delta V_a + y_{bc} V_b + y_c V_c = j \frac{1}{2} [B_{ac} V_a^R + B_{bc} V_b^R + B_c V_c^R] + I_c^R \quad (34)$$

Por lo general, se prefiere llevar a cabo la estimación de menos cuadrados con los bienes en contraposición a lo complejo ecuaciones. Por esta razón, el autor de este método divide ecuaciones (32) - (37) en partes real e imaginaria. Las 12 ecuaciones reales producidos por esta operación se dan por las ecuaciones

(38) a la (49)  $Re[-]$  e  $Im[-]$  representan a la parte real e imaginaria del argumento de entrada respectivamente. Es importante observar que cada elemento de la matriz de impedancia de fase inversa es complejo. Las partes real e imaginaria de cada elemento se definen como:

$yx = Gx + jTx$  (\* = a, b, c, ab, ac, or bc)

$$Re[I_a^R] = G_a Re[\Delta V_a] - T_a Im[\Delta V_a] + G_b Re[\Delta V_b] - T_{ab} Im[\Delta V_b] + G_{ac} Re[\Delta V_c] - T_{ac} Im[\Delta V_c] + \frac{1}{2} B_a Im[V_a^R] + \frac{1}{2} B_{ab} Im[V_b^R] + \frac{1}{2} B_{ac} Im[V_c^R] \quad (38)$$

$$Re[I_b^R] = G_{ab} Re[\Delta V_a] - T_{ab} Im[\Delta V_a] + G_b Re[\Delta V_b] - T_b Im[\Delta V_b] + G_{bc} Re[\Delta V_c] - T_{bc} Im[\Delta V_c] + \frac{1}{2} B_{ab} Im[V_a^R] + \frac{1}{2} B_b Im[V_b^R] + \frac{1}{2} B_{bc} Im[V_c^R] \quad (39)$$

$$Re[I_c^R] = G_{ac} Re[\Delta V_a] - T_{ac} Im[\Delta V_a] + G_{bc} Re[\Delta V_b] - T_{ac} Im[\Delta V_b] + G_c Re[\Delta V_c] - T_{ac} Im[\Delta V_c] + \frac{1}{2} B_{ac} Im[V_a^R] + \frac{1}{2} B_{bc} Im[V_b^R] + \frac{1}{2} B_c Im[V_c^R] \quad (40)$$

$$Re[\Delta I_a] = -\frac{1}{2} B_a Im[\sum V_a] - \frac{1}{2} B_{ab} Im[\sum V_b] - \frac{1}{2} B_{ac} Im[\sum V_c] \quad (41)$$

$$Re[\Delta I_b] = -\frac{1}{2} B_{ab} Im[\sum V_a] - \frac{1}{2} B_b Im[\sum V_b] - \frac{1}{2} B_{bc} Im[\sum V_c] \quad (42)$$

$$Re[\Delta I_c] = -\frac{1}{2} B_{ac} Im[\sum V_a] - \frac{1}{2} B_{bc} Im[\sum V_b] - \frac{1}{2} B_c Im[\sum V_c] \quad (43)$$

$$Im[I_a^R] = G_a Im[\Delta V_a] + T_a Re[\Delta V_a] + G_{ab} Im[\Delta V_b] + T_{ab} Re[\Delta V_b] + G_{ac} Im[\Delta V_c] + T_{ac} Re[\Delta V_c] - \frac{1}{2} B_a Re[V_a^R] - \frac{1}{2} B_{ab} Re[V_b^R] - \frac{1}{2} B_{ac} Re[V_c^R] \quad (44)$$

$$Im[I_b^R] = G_{ab} Im[\Delta V_a] + T_{ab} Re[\Delta V_a] + G_b Im[\Delta V_b] + T_b Re[\Delta V_b] + G_{bc} Im[\Delta V_c] + T_{bc} Re[\Delta V_c] - \frac{1}{2} B_{ab} Re[V_a^R] - \frac{1}{2} B_b Re[V_b^R] - \frac{1}{2} B_{bc} Re[V_c^R] \quad (45)$$

$$Im[I_c^R] = G_{ac} Im[\Delta V_a] + T_{ac} Re[\Delta V_a] + G_{bc} Im[\Delta V_b] + T_{bc} Re[\Delta V_b] + G_c Im[\Delta V_c] + T_c Re[\Delta V_c] - \frac{1}{2} B_{ac} Re[V_a^R] - \frac{1}{2} B_{bc} Re[V_b^R] - \frac{1}{2} B_c Re[V_c^R] \quad (46)$$

$$Im[\Delta I_a] = \frac{1}{2} B_a Re[\sum V_a] + \frac{1}{2} B_{ab} Re[\sum V_b] + \frac{1}{2} B_{ac} Re[\sum V_c] \quad (47)$$

$$Im[\Delta I_b] = \frac{1}{2} B_{ab} Re[\sum V_a] + \frac{1}{2} B_b Re[\sum V_b] + \frac{1}{2} B_{bc} Re[\sum V_c] \quad (48)$$

$$Im[\Delta I_c] = \frac{1}{2} B_{ac} Re[\sum V_a] + \frac{1}{2} B_{bc} Re[\sum V_b] + \frac{1}{2} B_c Re[\sum V_c] \quad (49)$$

Es importante tener en cuenta que cada entrada de la matriz de impedancia de fase inversa es compleja. Las partes real e imaginaria de cada entrada de la matriz se definen como tales.

Para crear una expresión para la estimación de mínimos cuadrados, se define un vector de medición, vector parámetro desconocido, y una matriz de coeficientes. La matriz de coeficientes relaciona los vectores de medición y de los parámetros y se construye utilizando las 12 ecuaciones citadas anteriormente:

El vector de medición se define como:

$Z =$

$$\left[ \text{Re}[I_a^R] \text{Re}[I_b^R] \text{Re}[I_c^R] \text{Re}[\Delta I_a] \text{Re}[\Delta I_b] \text{Re}[\Delta I_c] \dots \text{Im}[I_a^R] \text{Im}[I_b^R] \text{Im}[I_c^R] \text{Im}[\Delta I_a] \text{Im}[\Delta I_b] \text{Im}[\Delta I_c] \right]^T \quad (50)$$

El vector de parámetros desconocidos se define como:

$$\theta = [G_a T_a G_b T_b G_c T_c G_{ab} T_{ab} G_{ac} T_{ac} G_{bc} T_{bc} B_a B_c B_{ab} B_{ac} B_{bc} B_{bc}]^T \quad (51)$$

La matriz de coeficientes, H, se define como:

$$H = [H_1 H_2 H_3] \quad (52)$$

Donde:

$$H_1 = \begin{bmatrix} \text{Re}[\Delta V_a] & -\text{Im}[\Delta V_a] & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \text{Re}[\Delta V_b] & -\text{Im}[\Delta V_b] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \text{Re}[\Delta V_c] & -\text{Im}[\Delta V_c] \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{Im}[\Delta V_a] & \text{Re}[\Delta V_a] & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \text{Re}[\Delta V_b] & \text{Re}[\Delta V_b] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \text{Im}[\Delta V_c] & \text{Re}[\Delta V_c] \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} \text{Re}[\Delta V_b] & -\text{Im}[\Delta V_b] & \text{Re}[\Delta V_c] & -\text{Im}[\Delta V_c] & 0 & 0 \\ \text{Re}[\Delta V_b] & -\text{Im}[\Delta V_a] & 0 & 0 & \text{Re}[\Delta V_c] & -\text{Im}[\Delta V_c] \\ 0 & 0 & \text{Re}[\Delta V_a] & -\text{Im}[\Delta V_a] & \text{Re}[\Delta V_b] & -\text{Im}[\Delta V_b] \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{Im}[\Delta V_b] & \text{Re}[\Delta V_b] & \text{Im}[\Delta V_c] & \text{Re}[\Delta V_c] & 0 & 0 \\ \text{Im}[\Delta V_a] & \text{Re}[\Delta V_a] & 0 & 0 & \text{Im}[\Delta V_c] & \text{Re}[\Delta V_c] \\ 0 & 0 & \text{Im}[\Delta V_a] & \text{Re}[\Delta V_a] & \text{Im}[\Delta V_b] & \text{Re}[\Delta V_b] \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$H_3 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \text{Im}[V_a^R] & 0 & 0 & \text{Im}[V_b^R] & \text{Im}[V_c^R] & 0 \\ 0 & \text{Im}[V_b^R] & 0 & \text{Im}[V_a^R] & 0 & \text{Im}[V_c^R] \\ 0 & 0 & 0 & -\text{Im}[\sum V_b] & \text{Im}[V_a^R] & \text{Im}[V_b^R] \\ -\text{Im}[\sum V_a] & -\text{Im}[\sum V_b] & \text{Im}[V_c^R] & -\text{Im}[\sum V_a] & -\text{Im}[\sum V_c] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\text{Im}[\sum V_c] \\ 0 & 0 & -\text{Im}[\sum V_c] & 0 & -\text{Im}[\sum V_a] & -\text{Im}[\sum V_c] \\ -\text{Re}[V_a^R] & 0 & 0 & -\text{Re}[V_b^R] & -\text{Re}[V_c^R] & 0 \\ 0 & -\text{Re}[V_b^R] & 0 & -\text{Re}[V_a^R] & 0 & -\text{Re}[V_c^R] \\ 0 & 0 & -\text{Re}[V_c^R] & 0 & -\text{Re}[V_a^R] & -\text{Re}[V_b^R] \\ \text{Re}[\sum V_a] & \text{Re}[\sum V_b] & 0 & \text{Re}[\sum V_b] & \text{Re}[\sum V_c] & 0 \\ 0 & 0 & \text{Re}[\sum V_c] & \text{Re}[\sum V_b] & 0 & \text{Re}[\sum V_c] \\ 0 & 0 & 0 & \text{Re}[\sum V_a] & \text{Re}[\sum V_a] & \text{Re}[\sum V_b] \end{bmatrix}$$

Las definiciones anteriores se disponen de acuerdo con (53) para establecer el problema de mínimos cuadrados:

Para estimar los parámetros desconocidos, se requieren de las mediciones de voltaje de 3 fases y mediciones de los fasores de corriente en ambos extremos de la línea.

Las mediciones tomadas en un instante de tiempo constituyen una muestra. Se necesitan 12 ecuaciones reales discutidos anteriormente para describir las interdependencias de una muestra. Si hay varias muestras están disponibles, el conjunto indeterminado de ecuaciones en (53) se convierte en un conjunto sobre determinado de ecuaciones y el método de los mínimos cuadrados se pueden aplicar.

Las dimensiones de Z, H y 0 dependen del número de muestras disponibles. La tabla 2 muestra las dimensiones de cada vector / matriz dado que N muestras están disponibles.

Vector /Matriz	Dimensión [Fila/Columna]
Z	12Nx1
H	12Nx18
θ	18x1

Tabla 2: Dimensiones de las variables usadas en el método existente del proceso de estimación Fuente: Parameter error identification and estimation in power system state estimation – Liu

El vector de parámetros desconocidos puede estimarse utilizando el resultado de la aplicación del método de mínimos cuadrados.

$$\theta = (H^T H)^{-1} (H^T Z)$$

Una vez que se calcula el vector de parámetros desconocida, la matriz de impedancia de fase inversa y la matriz admitancia en derivación se puede construir. La matriz de impedancia de fase se encuentra invirtiendo la matriz de impedancia de fase inversa.

## METODO PROPUESTO PARA LINEAS TRASPUESTAS

Un nuevo método de línea traspuesta se propone en esta sección. La inspiración para su creación se ha elaborado a partir de dos fuentes - el método de doble medición y el método de medición múltiple utilizando lineal de mínimos cuadrados # 2.

El método propuesto para la determinación de los parámetros de línea de una línea traspuesta es similar al método existente en que utiliza múltiples mediciones PMU y la técnica menos estimación cuadrados.

Sin embargo, la manera en que se forman los cuadrados ecuaciones de mínimos y se identifican los parámetros desconocidos es diferente. El método propuesto comienza expresando la relación entre las cantidades finales que envían y reciben mediante el pi-modelo nominal. Es decir,  $V_{abc}^S$  e  $I_{abc}^S$  se presentan en términos de  $V_{abc}^R$  e  $I_{abc}^R$ .

Las ecuaciones descritas se enumeran:

$$V_{abc}^S = V_{abc}^R + \frac{1}{2}Z_{abc}Y_{abc}V_{abc}^R + Z_{abc}I_{abc}^R \quad (55)$$

$$I_{abc}^S = Y_{abc}V_{abc}^R + \frac{1}{4}Y_{abc}Z_{abc}V_{abc}^R + I_{abc}^R + \frac{1}{2}Y_{abc}Z_{abc}I_{abc}^R \quad (56)$$

Nos damos cuenta de que las ecuaciones (55) y (56) son una extensión del concepto parámetros ABCD. Como se dijo anteriormente, los parámetros ABCD se relacionan las cantidades finales que envían y reciben de un modelo de línea de transmisión de dos puertos. Para el caso no traspuesta, A, B, C, y D se convierten matrices de números complejos. La dimensión de cada una de estas matrices es 3x3. Esto significa que cada matriz contiene 9 entradas. A través de las cuatro matrices, resulta un total de 36 parámetros. Dado que los parámetros ABCD forman un conjunto lineal de ecuaciones, es posible estimar estos 36 parámetros utilizando mínimos cuadrados lineales.

Este método se llevó a cabo en el dominio de la fase o secuencia. Esto eliminaría la etapa media de la necesidad de convertir las mediciones PMU recogidos de fase a cantidades de secuencia. Las ecuaciones ABCD representadas en el dominio de la fase se dan como:

$$V_{abc}^S = AV_{abc}^R + BI_{abc}^R \quad (57)$$

$$I_{abc}^S = CV_{abc}^R + DI_{abc}^R \quad (58)$$

Comparando (55) y (56) con (57) y (58), vemos las siguientes equivalencias:

$$A = \frac{1}{2}Z_{abc}Y_{abc} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (59)$$

$$B = Z_{abc} \quad (60)$$

$$C = \frac{1}{4}Y_{abc}Z_{abc}Y_{abc} + Y_{abc} \quad (61)$$

$$D = \frac{1}{2}Y_{abc}Z_{abc} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (62)$$

Expresando las ecuaciones (59) hasta (62) en forma de matriz:

$$\begin{bmatrix} A_1 & A_2 & A_7 \\ A_4 & A_5 & A_8 \\ A_7 & A_6 & A_9 \end{bmatrix} = j\frac{1}{2} \begin{bmatrix} Z_a & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ab} & Z_b & Z_{bc} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_a & B_{ab} & B_{ac} \\ B_{ab} & B_b & B_{bc} \\ B_{ac} & B_{bc} & B_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (63)$$

$$\begin{bmatrix} B_1 & B_2 & B_7 \\ B_4 & B_5 & B_8 \\ B_7 & B_6 & B_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_a & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ab} & Z_b & Z_{bc} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_c \end{bmatrix} \quad (64)$$

$$\begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_7 \\ C_4 & C_5 & C_8 \\ C_7 & C_6 & C_9 \end{bmatrix} = -\frac{1}{4} \begin{bmatrix} B_a & B_{ab} & B_{ac} \\ B_{ab} & B_b & B_{bc} \\ B_{ac} & B_{bc} & B_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_a & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ab} & Z_b & Z_{bc} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_a & B_{ab} & B_{ac} \\ B_{ab} & B_b & B_{bc} \\ B_{ac} & B_{bc} & B_c \end{bmatrix} + j \begin{bmatrix} B_a & B_{ab} & B_{ac} \\ B_{ab} & B_b & B_{bc} \\ B_{ac} & B_{bc} & B_c \end{bmatrix} \quad (65)$$

$$\begin{bmatrix} D_1 & D_2 & D_7 \\ D_4 & D_5 & D_8 \\ D_7 & D_6 & D_9 \end{bmatrix} = j\frac{1}{2} \begin{bmatrix} B_a & B_{ab} & B_{ac} \\ B_{ab} & B_b & B_{bc} \\ B_{ac} & B_{bc} & B_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_a & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ab} & Z_b & Z_{bc} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (66)$$

Las ecuaciones (63) - (66) expresan la relación entre los parámetros ABCD y los parámetros de la línea de transmisión. Vemos que la matriz B equivale a la matriz de impedancia de fase. La matriz D es la transpuesta de la matriz A y cualquiera de éstos puede ser utilizado junto con la matriz de impedancia de fase para resolver la matriz de derivación de admisión

Combinando las ecuaciones (55) y (56) en una matriz de rendimientos de formato de ecuación concisa (67):

$$\begin{bmatrix} V_{abc}^S \\ I_{abc}^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{abc}^R \\ I_{abc}^R \end{bmatrix} \quad (67)$$

La expansión de la ecuación (67) resultados en la ecuación (68):

$$\begin{bmatrix} V_a^S \\ V_b^S \\ V_c^S \\ I_a^S \\ I_b^S \\ I_c^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & B_1 & B_2 & B_3 \\ A_4 & A_5 & A_6 & B_4 & B_5 & B_6 \\ A_7 & A_8 & A_9 & B_7 & B_8 & B_9 \\ C_1 & C_2 & C_3 & D_1 & D_2 & D_3 \\ C_4 & C_5 & C_6 & D_4 & D_5 & D_6 \\ C_7 & C_8 & C_9 & D_7 & D_8 & D_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a^R \\ V_b^R \\ V_c^R \\ I_a^R \\ I_b^R \\ I_c^R \end{bmatrix} \quad (68)$$

Realización de la multiplicación de matrices para (68) produce las siguientes seis ecuaciones complejas:

$$V_a^S = A_1V_a^R + A_2V_b^R + A_3V_c^R + B_1I_a^R + B_2I_b^R + B_3I_c^R \quad (69)$$

$$V_b^S = A_4V_a^R + A_5V_b^R + A_6V_c^R + B_4I_a^R + B_5I_b^R + B_6I_c^R \quad (70)$$

$$V_c^S = A_7V_a^R + A_8V_b^R + A_9V_c^R + B_7I_a^R + B_8I_b^R + B_9I_c^R \quad (71)$$

$$I_a^S = C_1 V_a^R + C_2 V_b^R + C_3 V_c^R + D_1 I_a^R + D_2 I_b^R + D_3 I_c^R \quad (72)$$

$$I_b^S = C_4 V_a^R + C_5 V_b^R + C_6 V_c^R + D_4 I_a^R + D_5 I_b^R + D_6 I_c^R \quad (73)$$

$$I_c^S = C_7 V_a^R + C_8 V_b^R + C_9 V_c^R + D_7 I_a^R + D_8 I_b^R + D_9 I_c^R \quad (74)$$

A diferencia del método existente, las seis ecuaciones complejas mencionadas anteriormente no se convertirán en 12 ecuaciones reales. Esto es porque, al hacerlo, un adicional de 36 parámetros desconocidos serían creados desconocido para las partes reales y complejos de cada entrada en las matrices A, B, C, y D.

En este punto, que ahora son capaces de formar el vector de medición, parámetro de vector, y matriz de coeficientes necesarios para la estimación de mínimos cuadrados. El vector de medición, Y se define como:

$$Y = \begin{bmatrix} V_{abc}^S \\ I_{abc}^S \end{bmatrix} = [V_a^S V_b^S V_c^S I_a^S I_b^S I_c^S]^T \quad (75)$$

El vector de parámetros desconocidos, o se define como:

$$\sigma = [A_N B_N C_N D_N]^T \quad (76)$$

Donde:

$$A_N = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \\ A_5 \\ A_6 \\ A_7 \\ A_8 \\ A_9 \end{bmatrix} \quad B_N = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \\ B_7 \\ B_8 \\ B_9 \end{bmatrix} \quad C_N = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_6 \\ C_7 \\ C_8 \\ C_9 \end{bmatrix} \quad D_N = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ D_5 \\ D_6 \\ D_7 \\ D_8 \\ D_9 \end{bmatrix}$$

La matriz de coeficientes, X se define como:

$$x = \begin{bmatrix} X_V & X_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X_V & X_1 \end{bmatrix} \quad (77)$$

Donde:

$$X_V = \begin{bmatrix} V_a^R & V_b^R & V_c^R & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & V_a^R & V_b^R & V_c^R & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & V_a^R & V_b^R & V_c^R \end{bmatrix}$$

$$X_1 = \begin{bmatrix} I_a^R & I_b^R & I_c^R & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_a^R & I_b^R & I_c^R & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_a^R & I_b^R & I_c^R \end{bmatrix}$$

En la ecuación (77), cada entrada cero de la matriz es igual a una matriz 3x9 de ceros. Las definiciones anteriores están dispuestos de acuerdo con la ecuación (78) para establecer el problema de mínimos cuadrados.

$$Y = X\sigma \quad (78)$$

Al igual que las mediciones método existente, el voltaje de 3 fases y fasor de corriente de ambos extremos de la línea se requieran para estimar los parámetros desconocidos. Seis ecuaciones (69) - (74) describen las interdependencias de una muestra. Si hay varias muestras están disponibles, el conjunto indeterminado de ecuaciones en

(78) se convierte en un conjunto de ecuaciones sobre determinado de mínimos cuadrados y se pueden aplicar las dimensiones o dependen del número de muestras disponibles. La tabla 3 muestra las dimensiones de cada vector / matriz dado que N las muestras están disponibles.

Vector/Matriz	Tamaño [Fila x Columna]
Y	6NX1
X	6NX36
$\sigma$	36X1

Tabla 3: Dimensiones de las variables usadas en el Método Propuesto del Proceso de estimación

Fuente: Power system state estimation: modeling error effects and impact on system operation

Para resolver el vector de parámetros desconocidos, los mínimos cuadrados habituales del resultado deben ser ajustado de modo que cada operación de transposición se sustituye con una operación transpuesta conjugada. Esto es para reflejar en el hecho de que los números complejos están presentes en la matriz de coeficientes. Por consiguiente, la solución se da como sigue

$$\sigma = (X^T X)^{-1} (X^T Y) \quad (79)$$

Una vez que se calcula el vector de parámetros desconocida, la matriz B puede ser construido para dar el matriz de impedancia de fase (se refiere a la ecuación (64)). Para resolver para la matriz shunt admitancia, examinamos la relación entre la matriz A y los parámetros de impedancia de fase. Tenga en cuenta que este proceso también puede llevarse a cabo utilizando la matriz D.

Reordenando la ecuación (59), se llega a una expresión para la matriz shunt admisión. Esta expresión está dada por la ecuación (80):

$$Y_{abc} = 2 \left( A - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \right) Z_{abc}^{-1} \quad (80)$$

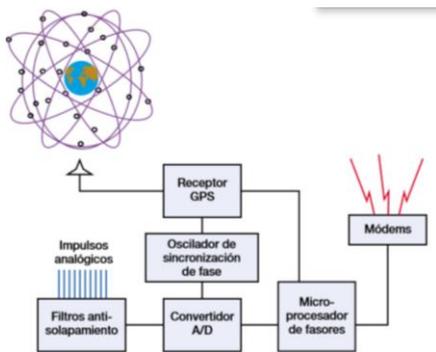
La forma expandida de la matriz de la ecuación (80) se representa por la ecuación (81):

$$j \begin{bmatrix} B_a & B_{ab} & B_{ac} \\ B_{ab} & B_b & B_{bc} \\ B_{ac} & B_{bc} & B_c \end{bmatrix} = 2 \left( \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & A_7 \\ A_4 & A_5 & A_8 \\ A_7 & A_6 & A_9 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} Z_a & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ab} & Z_b & Z_{bc} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_c \end{bmatrix}^{-1} \quad (81)$$

## ESTIMACIÓN DE ESTADO CONSIDERANDO PMUs

### Unidades de Medición Fasorial

Los PMUs miden voltaje, corriente y frecuencia a muy alta velocidad (usualmente 30 y 60 veces por segundo). Estas mediciones sincronizadas en tiempo facilitan el monitoreo de la dinámica en los cambios de las condiciones del sistema y mejora la confiabilidad de los sistemas de potencia.



### Formulación de Mediciones PMU para Estimación de Estado

#### - Medición de Corriente en Línea de Transmisión

las ecuaciones que representan la corriente real e imaginaria fluyendo a través de una línea de transmisión

$$I_{mk,real} = V_m (G_{mm} \cos \theta_m - B_{mm} \sin \theta_m) + V_k (G_{mk} \cos \theta_k - B_{mk} \sin \theta_k) \quad (1)$$

$$I_{mk,imag} = V_m (G_{mm} \sin \theta_m + B_{mm} \cos \theta_m) + V_k (G_{mk} \sin \theta_k + B_{mk} \cos \theta_k) \quad (2)$$

#### - Medición de Corriente en Transformador

En el caso de los dispositivos PMU, cuando se tiene una medición de voltaje, se tiene tanto la magnitud como el ángulo de voltaje del nodo en cuestión, es decir (González Carrillo, 2017)

$$V_k = V_k$$

$$\theta_k = \theta_k$$

### Cálculos para los Parámetros Estimados

Cuando se usa el método de estimación de parámetros por el aumento del vector de estado pueden aparecer algunos resultados anormales como resistencias negativas o valores de parámetros muy grandes. Para evitar estos inconvenientes se utiliza el análisis probabilístico. Los resultados del estimador de parámetros y la precisión de los valores estimados será el meollo en esta etapa, ya que estos pueden ser analizados desde el cálculo de sus intervalos de confianza e indicadores de precisión respectivamente (Vidal León Romay, 2016)

#### - Intervalos de Confianza de Parámetros

Se calcula los intervalos de confianza de los parámetros a estimar, si el valor se encuentra dentro de su intervalo de confianza entonces se considera como un parámetro sin posibilidad de error y por lo tanto debe mantenerse sin cambios. De otra forma, es un parámetro con posibilidad de error y debe ser corregido.

$$T_{p_i} = \frac{pl_i - pl_i}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 c_i}} \quad (3)$$

$T_{p_i}$  es la distribución t del i-ésimo parámetro

$pl_i$  es el i-ésimo parámetro verdadero

$c_i$  es el i-ésimo elemento diagonal de  $G^{-1}$  correspondiente a  $pl$

$\hat{\sigma}^2$  es el valor estimado de la varianza de error  $\sigma^2$ .

- **Indicadores de Precisión de la Estimación de Parámetros**

Los intervalos de confianza aportan información acerca del rango de distribución de los valores estimados alrededor de su valor verdadero por lo que la precisión de la estimación puede ser evaluada con la ayuda de ellos.

$$\left( \frac{\mu_{i,max} - \mu_{i,min}}{2pl_i} \right) \quad (4)$$

$\mu_{i,max}$  es el límite superior del intervalo de confianza del parámetro  $pl_i$  dado en la ecuación (3).

$\mu_{i,min}$  es el límite inferior del intervalo de confianza del parámetro  $pl_i$  dado en la ecuación (3).

**CONFIGURACION DE LA LINEA**

La configuración geométrica de la línea en un sistema cartesiano de coordenadas se muestra en la figura 1. Las distancias asociadas con la configuración geométrica se pueden encontrar como ejemplo en la tabla 1 (Trelles Vilcamasco, 2018)

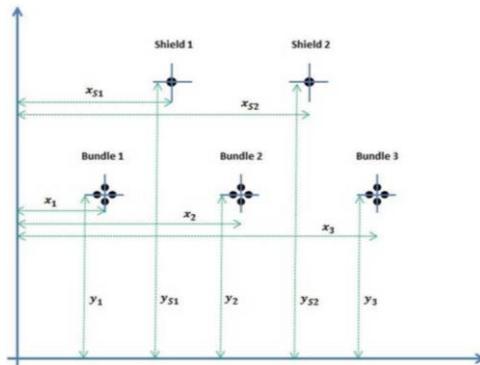


Figura 1: sistema cartesiano de coordenadas

	X1	X2	X3	XS1	XS2	Y1	Y2	Y3	YS1	YS2
Distancia	-10	0	10	-6	6	20	20	20	27	27

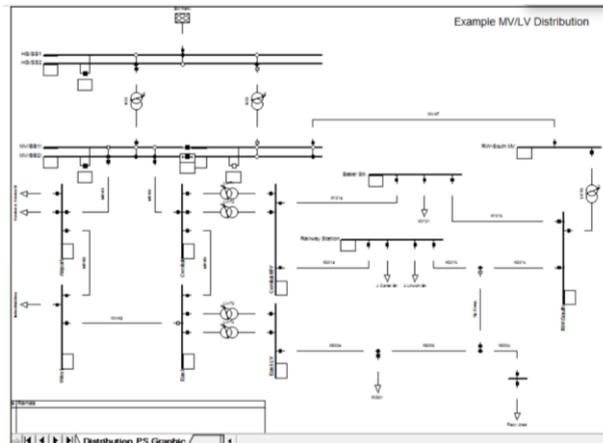
Tabla 1: Distancias asociadas con la configuración geométrica

**POWER FACTORY DigSILENT**

El software POWER FACTORY 14.0 de DigSILENT es una herramienta especializada en el análisis de sistemas eléctricos de potencia, la cual permite realizar simulación digital y cálculo de redes eléctricas.

- **USO DE ESTIMADOR DE ESTADO DE DigSILENT**

El estimador de estado de Power Factory proporciona un flujo de carga constante para un sistema de energía de todo, sobre la base de mediciones en tiempo real, introducidos manualmente de datos y el modelo de red (Sacasqui Huaito, 2014).



## 2.3. Teorías relacionadas con el tema

### VARIABLE 1: Estimación de estado

Según (Nolasco Contreras, 2012) “Es uno de los análisis más importantes y necesarios que se realizan en la vida real dentro de la industria eléctrica, es indispensable poder estimar las variables de estado utilizando los valores obtenidos por los PMU’s y los valores obtenidos por el SCADA dentro de un sistema eléctrico”.

Según (Saraguro Ramirez, 2020) “El proceso de estimación de estado, se realiza en base de un conjunto de mediciones disponibles y mediante un proceso de eliminación de mediciones con probabilidad de ser erróneas, se obtiene un proceso de estimación óptimo”.

De lo expuesto por los autores, en el presente trabajo de investigación se verificará como estimación de estado puede influir en la eliminación de valores erróneos.

### DIMENSIONES

#### D1: Mediciones SCADA

Según (Inostroza Espejo, 2018) “son una de las principales herramientas de software desarrolladas para satisfacer la necesidad de conocer, en tiempo real, el estado de operación de un proceso productivo, permitiendo el monitoreo, supervisión y control a distancia”

De lo expuesto por el autor, la dimensión de mediciones SCADA en nuestro trabajo de investigación permitirá verificar y conocer los valores de la red de suministro en tiempo real.

I1: Flujo de Potencia Activa

I2: Flujo de Potencia reactiva

I3: Corriente a través de una línea

#### **D2: Mediciones del PMU**

Según (Pelaez Mejia, y otros, 2015) “permiten obtener una mejor observabilidad del sistema eléctrico de potencia, mediante la medición fasorial de los parámetros de corriente y voltaje en tiempo real”

De lo expuesto por el autor, la dimensión Mediciones PMU nos permitirá ver los valores fasoriales del sistema de suministro.

I1: Flujo de corriente real

I2: Flujo de corriente imaginaria

I3: Magnitud y ángulo de voltaje nodal

#### **VARIABLE 2: Estimación de parámetros en líneas de transmisión**

Según (Olarte Dussán, y otros, 2010) “La estimación de parámetros es importante debido a que valores más precisos en los parámetros conducen a mejores resultados en un estimador de estado”.

Según (Vidal León Romay, 2016) “La estimación de parámetros se lleva a cabo tomando en cuenta el ruido aleatorio inherente los dispositivos de medición”.

De lo expuesto por los autores, en el presente trabajo de investigación la estimación de parámetros en líneas de transmisión nos permite tener valores más precisos, ya que elimina los valores erróneos producido por factores externos.

#### **DIMENSIONES**

##### **D1: EXACTITUD**

Según (Romacho, 2010) “La exactitud se define como el grado de concordancia entre el valor verdadero y el medido”.

De lo expuesto por el autor, la dimensión exactitud nos permitirá ver el grado de confiabilidad de las mediciones realizadas.

I1: Ruido en las mediciones

I2: Acoplamiento mutuo entre las líneas

## **2.4. Definición de Términos básicos**

**Línea de transmisión (LT):** Medio físico mediante el cual se realiza la transmisión y distribución de la energía eléctrica, está constituida por: conductores, estructuras de soporte, aisladores, accesorios de ajustes entre aisladores y estructuras de soporte, y cables de guarda (usados en líneas de alta tensión, para protegerlas de descargas atmosféricas).

**Estimación de parámetros:** La estimación de parámetros es el proceso mediante el cual uno o varios parámetros de la red de los cuales se sospecha sobre su precisión se valoran a partir de otras mediciones.

**Sistema eléctrico de potencia (SEP):** El sistema eléctrico de potencia es un conjunto de elementos que tiene como fin generar, transformar, transmitir, distribuir y consumir la energía eléctrica de tal forma que se logre la mayor calidad al menor costo posible.

**Métodos que aumentan el vector de estado:** Estos métodos agregan al vector de estado los parámetros sospechosos que requieren ser estimados. En este caso el estimador de estado se lleva a cabo al mismo tiempo que el estimador de parámetros.

**Distribución de energía:** Estos sistemas, tienen la función de transportar la energía eléctrica desde los sistemas de transmisión hacia las cargas de consumo (usuarios finales)

**Observabilidad:** Cuándo hay suficientes mediciones disponibles para estimar el vector de estado del sistema completo se dice que la red eléctrica es observable.

### **III. HIPOTESIS**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.2. Hipótesis General**

H.G. Existe relación entre las técnicas de estimación de estado y la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022

H0. No existe relación entre las técnicas de estimación de estado y la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022.

##### **3.1.3. Hipótesis Específica**

H.E.1 Se puede estimar los parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022



<b>Estimación de parámetro</b>	Variable 2	Es el proceso mediante el cual uno o varios parámetros de la red de los cuales se sospecha sobre su precisión, por los factores externos, se valoran a partir de otras mediciones.	<b>Exactitud</b>	Ruido en las mediciones  Acoplamiento mutuo entre las líneas
--------------------------------	------------	--	------------------	--

## IV. DISEÑO METODOLOGICO

### 4.1. Tipo y diseño de Investigación

#### **TIPO DE INVESTIGACION: Investigación Aplicada**

Según (Lozada, 2014) “al realizar una investigación aplicada el resultado de la investigación debe generar nuevo conocimiento y el resultado debe ser llevado al campo real para su uso.”

De lo expuesto por el autor, el presente trabajo de investigación es del tipo aplicado, pues se utiliza los documentos de investigación previos a las ejecuciones de las distintas técnicas de estimación de estado como base para la aplicación de una nueva metodología.

#### **DISEÑO DE INVESTIGACION: No experimental – transversal**

Según (Hernández et al., 2014) “Los diseños de investigación transaccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único”.

Este diseño se ajusta al presente trabajo investigación debido a que se realizó en un tiempo limitado y toda la información fue recogida en un solo momento.

#### **NIVEL DE INVESTIGACION: DESCRIPTIVO-CORRELACIONAL**

Según (Hernández et al., 2014) “Se caracterizan porque primero se miden las variables y luego, mediante pruebas de hipótesis correlacionales y la aplicación de técnicas estadísticas, se estima la correlación. Aunque la investigación correlacional no establece de forma directa relaciones causales, puede aportar indicios sobre las posibles causas de un fenómeno”

El presente proyecto de investigación es de nivel descriptivo-correlacional porque se mide mediante técnicas estadísticas el nivel de correlación entre estimación de estado y la estimación de parámetro de las redes de suministro eléctrico.

## 4.2. Método de Investigación

Según (**Tamayo, 2017**) menciono que “La metodología utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente el uso de estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población.”

El presente proyecto de investigación es hipotético deductivo ya que se podrá determinar la veracidad o falsedad de las hipótesis a partir de los resultados obtenidos en el procesamiento estadístico, deduciendo la relación que existe entre las dos variables en estudio.

## 4.3. Población y muestra

### Población

Según (**Quesada, 1988**) mencionó que “se nombrara población a cualquier grupo finito o infinito de individuos o elementos variados, perfectamente identificables sin ambigüedad”.

Según (**Hernández, Fernández y Baptista, 2014**) “Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones”.

En el presente proyecto de investigación, la población está conformado por las redes de prueba del IEEE.

### Muestra

Según (**Hernández, 2014**) menciona que “la muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población”

(**Castro, 2003**) expresa que "si la población es menor a cincuenta (50) individuos, la población es igual a la muestra”.

De lo expuesto por los autores, la muestra es de 2 redes de prueba del IEEE de 37 y de 9 nodos para simulaciones y validación de resultados.

### Muestreo

Según (**Bernal, 2010**) menciona que “El método de muestreo es utilizado para estimar el tamaño de una muestra depende del tipo de investigación que desea realizarse y, por tanto, de las hipótesis y del diseño de investigación que se hayan definido para desarrollar el estudio.”

Según (**Bernal, 2010**) menciona que “La muestra es un subgrupo de elementos de una población selectos para participar en un estudio, de igual forma se puede decir

que la muestra es la selección de una población que la puede representar, esto debido a la imposibilidad de conocer los gustos y las necesidades de todos, de esta forma es posible conocer a proporción las respuestas a las cuestiones planteadas.”

De lo expuesto por los autores, el tipo de muestreo empleado es el muestreo no probabilístico por conveniencia, pues se ha seleccionado los nodos de prueba del IEEE, en base al conocimiento y criterio del investigador.

La **Fórmula** para calcular el tamaño de mi muestra es la siguiente:

$$n = \frac{N \times Z_a^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_a^2 \times p \times q}$$

Donde

N = tamaño de la población (N = 120)

Z = nivel de confianza (Z=95%)

P = probabilidad de éxito, o proporción esperada (p=50%)

Q = probabilidad de fracaso (q=50%)

D = precisión (error máximo admisible en términos de proporción) (d=5%)

$$n = \frac{100 \times 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2(100 - 1) + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5} = 92$$

El tamaño de mi muestra será de 92 obras de distribución eléctrica rurales manejadas por la Dirección General de Electrificación Rural.

#### **4.4. Lugar de Estudio**

El presente estudio se realizará tomando en cuenta las zonas rurales

#### **4.5. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de la Información, Validez y Confiabilidad**

##### **4.5.1. Técnicas**

Según **(Arias, 2006)** “las técnicas de investigación son las distintas maneras, formas o procedimientos utilizados por el investigador para recopilar u obtener los datos o la información.”

##### **4.5.1.1. Encuesta**

Para **(Trespacios, Vázquez y Bello,2015)** “las encuestas son técnicas de investigación descriptiva que precisan identificar a priori las preguntas a realizar, las personas seleccionadas en una muestra representativa de la población, especificar las respuestas y determinar el método empleado para recoger la información que se vaya obteniendo.”

#### 4.5.2. Instrumentación

Según **(Sabino, 1996)** expone que “un instrumento de recolección de datos es, en principio, cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos la información (.....).”

Para esta presente investigación, el instrumento que se utilizará será el cuestionario.

#### 4.5.3. Encuesta

Según **(Sampieri, 2003)** “el método utilizado para la realización de una investigación es la encuesta, la cual consiste en un conjunto de preguntas a una o más variable respecto a una o más variables a medir.”

##### ❖ Cuestionario Virtual

El instrumento de Recolección de datos es necesario que sea aprobado en base al cumplimiento de criterios específicos para que estos puedan ser utilizados.

#### 4.5.4. Validez

Según **(Rusque M., 2003)** “la validez representa la posibilidad de que un método de investigación sea capaz de responder a las interrogantes formuladas. La validez designa la capacidad de obtener los mismos resultados de diferentes situaciones. La validez no se refiere directamente a los datos, sino a las técnicas de instrumentos de medida y observación, es decir, al grado en que las respuestas son independientes de las circunstancias accidentales de la investigación.”

De lo expuesto por el autor, la validez de un instrumento en nuestro trabajo de investigación realmente mide las variables que están en la matriz de Operacionalización y que tiene que ser evaluado por un jurado de expertos.

#### 4.5.5. Confiabilidad

Para **(Martin, 2008)** un instrumento de medición es del todo confiable si conseguimos exactamente el mismo resultado cuando repetimos la medición varias veces en condiciones equivalentes. Cuando más varíen los resultados, menos confiable es el instrumento de medición.

De lo expuesto por el autor, la confiabilidad de los instrumentos, que serán aplicados en la presente investigación titulada: "TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE ESTADO Y LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, PERÚ 2022" deberán ser desarrollados utilizando el alfa de cronbach y la r de Pearson como señal de conformidad respecto a los datos que hemos tomado y obtenido.

## 4.6. Análisis y procesamiento de Datos

### 4.6.1. Método de Análisis de Datos

Según (Kinneer y Taylor, 2002), "El análisis de datos consiste en la realización de las operaciones a las que el investigador someterá los datos con la finalidad de alcanzar los objetivos del estudio. Todas estas operaciones no pueden definirse de antemano de manera rígida. La recolección de datos y ciertos análisis preliminares pueden revelar problemas y dificultades que desactualizarán la planificación inicial del análisis de los datos. Sin embargo, es importante planificar los principales aspectos del plan de análisis en función de la verificación de cada una de las hipótesis formuladas ya que estas definiciones condicionarán a su vez la fase de recolección de datos."

Según (Arias, 2004), "en este punto se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan."

**Inferencial:** Estima parámetros (generaliza a la población) y prueba hipótesis. Comprende análisis paramétricos que comprende el coeficiente de correlación de Pearson, regresión lineal, prueba T, contraste de la diferencia de proporciones, análisis de varianza y análisis de covarianza. También el análisis no paramétrico que comprende el coeficiente de correlación de Spearman y Kendall, coeficiente de tabulación cuadrada, coeficiente de correlación no lineal y coeficientes de correlación en los que las variables tienen distintos niveles de medición, finalmente el análisis multivariado.

**Descriptiva:** Tablas o gráficos como tabla de frecuencia, gráfico de barras, gráfico de tortas, histogramas, diagrama de Pareto, diagrama circular, diagrama de caja; o Medidas de resumen como medidas de dispersión, medidas de posición central, medidas de posición no central, media armónica, varianza, desviación típica, asimetría, curtosis, frecuencias, etc.

Según lo expuesto por el autor, para el presente trabajo de investigación se va utilizar principalmente la herramienta de Microsoft Excel y el programa estadístico SPSS.

## 4.7. Aspectos Éticos

El presente trabajo de investigación titulado: “TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE ESTADO Y LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, PERÚ 2022” ha tenido las siguientes consideraciones.

**Académico:** El contenido de la información es solo con fines académicos.

**Objetivo:** Los datos de esta investigación son analizados con criterios técnicos e imparcial.

**Confiable:** Porque la información proporcionada pertenece al área de atención al cliente y se reserva el derecho a la propiedad intelectual.

**Veracidad:** Por que los resultados obtenidos no serán manipulados o alterados.

**Originalidad:** Según las Normativas de la Universidad Nacional del Callao, se citaran las fuentes bibliográficas a fin de evitar el plagio.

## V. RESULTADOS

En esta sección, se valida el método propuesto para la determinación de los parámetros de línea de una línea no traspuesta. El método existente se valida en [7], pero en comparación con el método propuesto, que es sometido a la misma prueba de validación.

Como se indicó, cada una de las técnicas de estimación utiliza múltiples muestras de medición PMU y mínimos cuadrados lineales para identificar los parámetros de una línea de transmisión. La principal diferencia entre los dos métodos es el número mínimo de muestras requeridas para estimar los parámetros.

El número mínimo de muestras se encuentra dividiendo el número de filas del vector de parámetros desconocidos por el número de filas de la vector de medición. Si esta operación produce una fracción, el resultado debe ser redondeado al número entero más cercano.

El método existente requiere al menos dos muestras para estimar los parámetros de la línea de transmisión mientras que el método propuesto requiere seis. Cualquiera de los métodos es capaces de estimar los valores de los parámetros de línea con relativamente bajo error, siempre y cuando se utilizan muestras sin ruido durante el proceso de estimación.

En el capítulo IV se aborda el rendimiento de cada método cuando el ruido está presente en las mediciones:

A fin de resolver cada uno de los métodos, las muestras seleccionadas para mínimos cuadrados lineales deben cumplir con uno de los siguientes criterios:

- Todas las medidas deben representar la línea bajo una condición de carga único
- Toda medida debe representar a la línea durante un desequilibrio sistema único
- Las mediciones deben ser de una combinación de carga única y condiciones desequilibradas.

Si las mediciones utilizadas para la estimación de parámetros son demasiado similares, la matriz de coeficientes se convertirá deficiente rango. Si esto ocurre, no se puede obtener una estimación de los parámetros.

Por último, es destacable que, aunque los métodos que se valida se clasifican como "métodos de línea no se ha adaptado", que se pueden utilizar independientemente de si o no la línea de la traspuesta. Si estos métodos se aplican a una línea totalmente traspuesta, todavía se estima 18 parámetros. Sin embargo, los términos auto y mutuas de cada matriz parámetro desconocido serán iguales.

#### CONFIGURACION DE LA LINEA

La línea de transmisión que se utiliza para realizar la validación de una sobrecarga, no traspuesta, línea de tres fases que utiliza cuatro conductores por fase y tiene dos cables de blindaje.

La configuración geométrica de la línea en un sistema cartesiano de coordenadas se muestra en la figura 3. Las distancias asociadas con la configuración geométrica se pueden encontrar en la tabla 4.

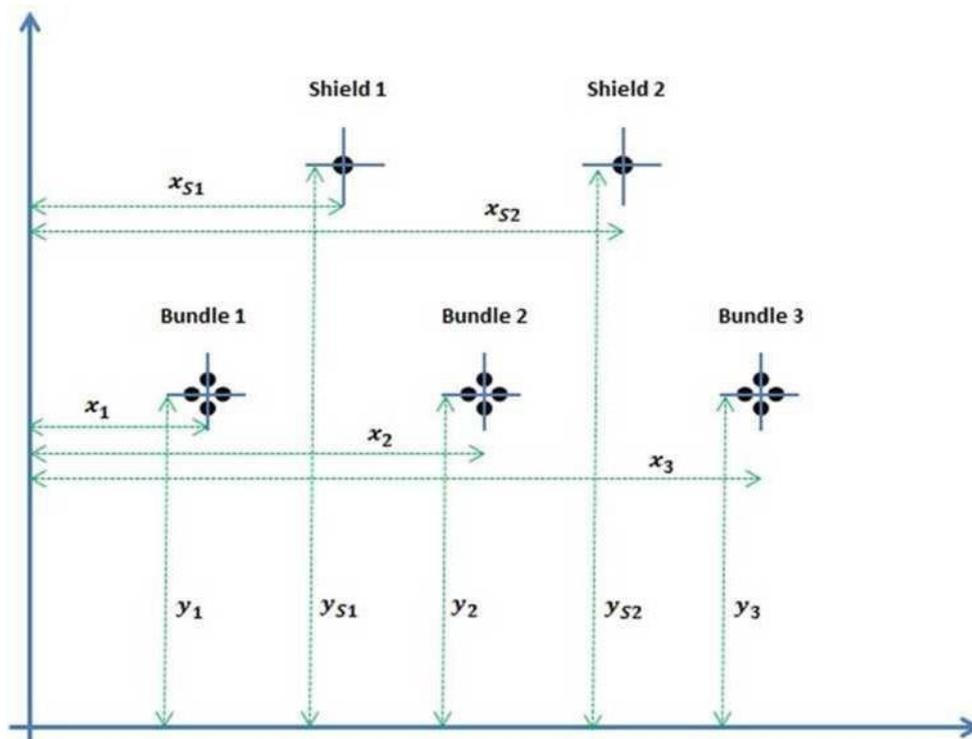


Figura 2: Configuración geométrica de la línea utilizada para la validación del método

Fuente: Elaboración propia

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_{S1}$	$x_{S2}$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_{S1}$	$y_{S2}$
Distance	-10	0	10	-6	6	20	20	20	27	27

Tabla 4: Distancias asociados a la configuración geométrica Fuente: Elaboración propia

## RESULTADOS

La línea de transmisión se modela usando el Programa de Transitorios Alternativos (ATP). El pi-modelo nominal distribuido fue elegido con las características de auto-paquetización y efecto de la piel seleccionados.

Un resumen de las propiedades de línea requeridos para el modelado se enumera en la tabla 5.

línea de la propiedad	Valor
radio de conductor de fase	16 cm
Radio interior debido al efecto piel	0 cm
Fase conductor de resistencia de CC	0.5 Ohmio / km
Apantallamiento radio del	4.9 cm
resistencia de corriente continua de	0,8 km / Ohmio
resistencia de tierra	0.001 km / Ohmio
Número de conductor por fase	4
La separación de los conductores	20
Longitud de la línea de transmisión	150 km
Frecuencia de operación	60 Hz

Tabla 5: Propiedades de Línea modelada en ATP Fuente: Elaboración propia

Las matrices de impedancia en serie y admitancia en derivación resultantes por unidad de longitud (Q / kilómetro) se dan en la tabla 6. La impedancia en serie y shunt admitancia equivalente total se encuentra multiplicando cada matriz por la longitud de la línea.

Phase impedance Matriz Per Unit Length (Ω/km)	
$Z_{abc} =$	$\begin{bmatrix} 14.117 + j42.531 & 1.671 + j8.592 & 1.319 + j4.356 \\ 1.671 + j8.592 & 14.424 + j42.156 & 1.671 + j8.592 \\ 1.319 + j4.356 & 1.671 + j8.592 & 14.117 + j42.531 \end{bmatrix} \times 10^{-2}$
Phase Admittance Matriz Per Unit Length (Ω/km)	
$Y_{abc} =$	$\begin{bmatrix} 40.367 & -6.767 & -1.997 \\ -6.767 & 42.033 & -6.767 \\ -1.997 & -6.767 & 40.367 \end{bmatrix} \times 10^{-7}$

Tabla 6: Impedancia de fase y matrices de admitancia de la longitud (en ohmios / kilómetro)

Dado que las muestras de medición reales PMU no están disponibles para la línea en cuestión, ATP será utilizado para generarlos. Las muestras se obtienen mediante la conexión de una fuente de tensión trifásica para el extremo emisor de la línea modelo y una carga de tres fases para el extremo de recepción.

La impedancia de la carga es variada y la tensión trifásica / mediciones de corriente se obtiene a partir de la \*.lis informe de simulación hasta que se haya adquirido un número suficiente de muestras. Para la validación, se utilizarán seis muestras.

Una carga equilibrada o desequilibrada puede ser conectado a la línea de la hora de crear el conjunto de muestras. Cada método estima los valores de los parámetros correctamente independientemente del tipo de carga presente. Con el fin de imitar la carga en una línea de transmisión real, una carga desequilibrada será utilizado para cada muestra.

El software MATLAB se utiliza para implementar cada método y estimar los valores de los parámetros. Los resultados de la validación se muestran en las tablas 7, 8 y 9 para la resistencia, reactancia, y susceptancia respectivamente.

Cada lista de la tabla muestra el verdadero valor del parámetro junto con el valor estimado por los métodos existentes y propuestos. Además, aparece el error por ciento de cada valor del parámetro error porcentual se calcula según la ecuación (82). Para evitar largas cadenas de números en cada tabla, las entradas se limitan a un número apropiado de dígitos.

$$Percent Error = \left( \frac{true\ value - estimated\ Value}{True\ Value} \right) \times 100 \quad (82)$$

Parámetro	Verdadero valor	Existente Método	Propuesto Método	Error% Existente	Error% Propuesto
Ra	21.1765	21.1765	21.1765	0	0
Rb	21.6364	21.6364	21.6364	0	0
Rc	21.1765	21.1765	21.1765	0	0
Rab	2.5065	2.5065	2.5065	0	0
Rbc	1.9792	1.9792	1.9792	0	0
Rca	2.5065	2.5065	2.5065	0	0

Tabla 7: Validación de resultados para valores de resistencia Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Verdadero	Existente Método	Propuesto Método	Error% Existente	Error% Propuesto
4	63.7975	63.7975	63.7975	0	0
Xb	63.2339	63.2339	63.2339	0	0
Xc	63.7975	63.7975	63.7975	0	0
Xab	12.8875	12.8875	12.8875	0	0
Xbc	6.5341	6.5341	6.5341	0	0
Xac	12.8875	12.8875	12.8875	0	0

Tabla 8: Validación Resultados para valores de reactancia Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Verdadero valor	Método existente [mhos]	Método propuesto [mhos]	% Método existente	% Error Método propuesto
-----------	-----------------	-------------------------	-------------------------	--------------------	--------------------------

Ba	0,6055 E-03	0,6055 E-03	0,6056 E-03	0	-0,0086
Bb	0,6305 E-03	0,6305 E-03	0,6304 E-03	0	0,0166
Bc	0,6055 E-03	0,6055 E-03	0,6056 E-03	0	-0,0086
Bab	-0.1015 E-03	-0.1015 E-03	-0.1018 E-03	0	-0,2703
Bac	-0.0300 E-03	-0.0300 E-03	-0.0299 E-03	0	0.1745
Bbc	-0.1015 E-03	-0.1015 E-03	-0.1013 E-03	0	0.2421

Tabla 9: Validacion Los resultados de Valores susceptancia Fuente: Elaboracion propia

Como puede verse a partir de los resultados de la validación, cada método es capaz de estimar los 18 valores de los parámetros con alta precisión. Los resultados demuestran que el método propuesto es una técnica de estimación válida que se puede utilizar para determinar los parámetros de una línea no traspuesta.

#### CAPITULO IV

##### ANALISSI DE SENSIBILIDAD PARA METODOS DE LINEAS NO TRANSPUESTAS

##### ANALISIS DE SENSIBILIDAD

En este capítulo, un análisis de sensibilidad se lleva a cabo con los métodos de línea no traspuestas para determinar su rendimiento cuando el ruido está presente en las mediciones sincrofasor. Antes de realizar el análisis, es necesario identificar los factores que afectan a la exactitud de la estimación de parámetros

##### FACTORES QUE IMPACTA LA EXACTITUD DE ESTIMACION DE PARAMETROS

Hay varios factores que interfieren con la capacidad de cada método para estimar con precisión valores de los parámetros de línea para una línea no traspuesta con carga desequilibrada. Algunos de los más predominantes de estos factores incluyen.

- La influencia del ruido en las mediciones sincrofasor o La influencia de acoplamiento mutuo entre las líneas de transmisión o La influencia de la longitud de la línea de transmisión.

Referencias [7] y [13] proporcionan una discusión detallada de la función que el acoplamiento mutuo y la transmisión de longitud de la línea juegan en el proceso de estimación de parámetros.

Así como el acoplamiento mutuo entre las líneas de transmisión se puede compensar durante la estimación de parámetros restando la tensión inducida por la línea acoplada

a partir de las mediciones de voltaje. La tensión inducida se puede calcular utilizando la inductancia mutua entre las líneas de transmisión de interés y las medidas de corriente de la línea de inducción de la tensión de [7].

La longitud de la línea de transmisión sólo se convierte en un factor en la estimación de parámetros cuando el ruido está presente en las mediciones sincrofasor. El porcentaje de error en los valores de parámetro de la línea tiende a ser mayor para líneas de transmisión cortas. A medida que aumenta la longitud de línea, el error es todavía presente en los valores de los parámetros de línea, sin embargo, su magnitud se reduce considerablemente.

Desde ya se han explorado las influencias de acoplamiento mutuo y la transmisión de longitud de la línea, estos factores no se considerarán en el análisis de sensibilidad.

La línea de transmisión utilizado en el análisis tiene longitud fija y no será acoplada con otra línea. El análisis se centrará exclusivamente en el tipo y la magnitud de ruido presente en las mediciones sincrofasor.

#### TIPOS DE FUENTES DE RUIDO

Hay dos tipos de ruido que se encuentran en las mediciones sincrofasor - sistemáticos y aleatorios. La presencia de ruido aleatorio sistemático y en las mediciones sincrofasor puede causar valores de los parámetros estimados se desvíen de sus verdaderos valores. Incluso la más pequeña cantidad de ruido puede producir grandes errores.

Ruido (sesgo) Systematic aparece consistentemente con la misma magnitud y dirección en un conjunto de medición. Hace que los valores medidos sean desplazadas de sus valores verdaderos en una cantidad fija. El ruido sistemático es a menudo el resultado de un uso inadecuado o mala calibración de un dispositivo de medición.

Sólo puede ser eliminado mediante la búsqueda de la fuente del ruido y corregirlo

Aparecen interferencias con magnitud variable y dirección en un conjunto de medida. Típicamente tiene una distribución normal de Gauss con la media siendo el verdadero valor de la magnitud medida. La causa del ruido aleatorio es generalmente desconocida. Se elimina tomando la media de un conjunto de datos grande.

El ruido en las mediciones sincrofasor se atribuye principalmente a las inexactitudes de los canales de instrumentación y equipo GPS que constituyen el conjunto del sistema de medición de fasores. Estas inexactitudes pueden reducirse como la nueva tecnología toma el lugar del viejo, pero nunca completamente eliminados.

Un canal de instrumentación se define como los dispositivos entre la alta tensión original o punto de medición de la corriente y la señal que se transmite al convertidor A / D de

una PMU [14]. El canal de instrumentación se extiende físicamente a lo largo de una subestación eléctrica. Los instrumentos que componen el canal incluyen transformadores de tensión, transformadores de corriente, cables de señal, cargas y atenuadores. Una ilustración de un canal de instrumentación se da en la figura 3.

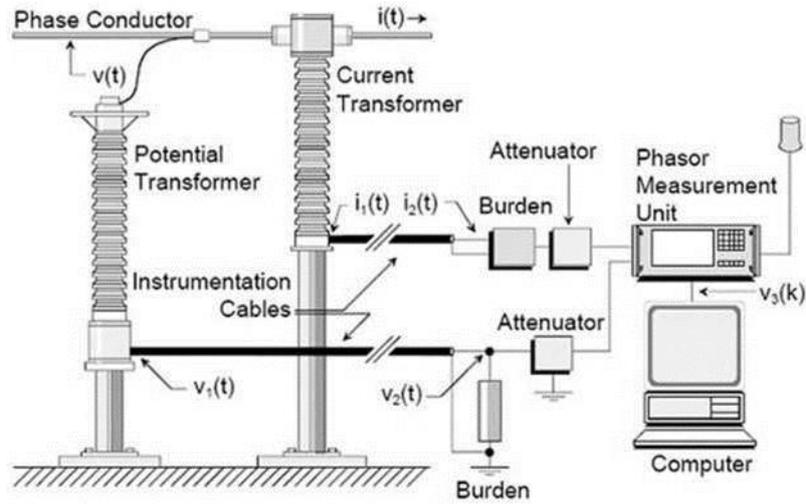


Figura 3: ilustración de la PMU Instrumentación Channel Fuente: Power system state estimation: modeling error effects and impact on system operation

Hay varios problemas que se producen con los componentes individuales de un canal de instrumentación. Estos problemas pueden causar inexactitudes en las mediciones sincrofase. Algunos ejemplos incluyen calibración de los transformadores de medida, la acumulación de contaminantes en las superficies de cable, el envejecimiento de los equipos, la presencia de cargas no lineales, y la interferencia eléctrica de las inmediateces de circuitos.

El equipo GPS utilizado para producir mediciones sincronizadas ha sido conocido por tener una alta precisión. Los mejores sistemas de GPS pueden producir estampado de tiempo de mediciones con una precisión mejor que 1 microsegundo. En un sistema con una frecuencia de funcionamiento de 60 Hz, esto es equivalente a solamente 0,02 grados de error en la fase [14].

La inexactitud de los equipos GPS puede ser despreciado cuando todas las unidades de gestión en un sistema de energía dada provienen del mismo fabricante. Esto es porque el error producido por el sistema GPS es el mismo para cada PMU. inexactitud GPS se vuelve más significativo en un entorno de múltiples proveedores [14]. PMU de diferentes fabricantes tienen diferentes relojes internos que están sujetas a correr más rápido o más lento que el tiempo universal coordinado (UTC). Con el tiempo, este problema puede resultar en posición oblicua tiempo (deriva) errores en las mediciones sincronizadas. Más información sobre el problema skew tiempo, así como métodos de corrección que se puede encontrar en la referencia [15].

## CONFIGURACIÓN DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad determinará el rendimiento de cada método de estimación (existentes y propuestos) cuando se añade ruido sistemático y al azar a las mediciones sincrofasor. La línea de transmisión que es utilizada para el análisis de sensibilidad es la misma línea que se utiliza durante la validación del método línea propuesta. La longitud de la línea es de 150 km y no se acopla mutuamente con otras líneas.

El ruido sistemático que se añadirá a las mediciones sincrofasor tendrá una magnitud fija y dirección. La cantidad de ruido presente será variado de negativo a positivo uno por ciento del valor real medido. El ruido aleatorio que se añade a las mediciones sincrofasor seguirá una distribución normal de Gauss. Se tendrá cero desviación media y estándar que se varió de cero a positivo uno por ciento del valor real medido.

Si bien es probable que ambos tipos de ruido podrían aparecer juntos en las mediciones sincrofasor del mundo real, no van a ser combinados para los fines de este análisis.

Se supone que para ambos tipos de ruido, cada fase de una cantidad medida se verán afectados por igual. Por ejemplo, las fases A, B, y C de la tensión de extremo de envío todos será corrompida por la misma cantidad de ruido. También vamos a suponer que las partes real e imaginaria de una cantidad medida se ven afectados por igual. Por ejemplo, las partes real e imaginaria de la fase de un voltaje extremo de envío serán dañados por la misma cantidad de ruido.

Debido a que cada método de estimación está basado en mínimos cuadrados, tendrán que considerarse las siguientes variables:

- El número de estimaciones realiza. Dependiendo del ruido presente en las mediciones, una estimación realizada con un solo conjunto de muestras puede producir un resultado diferente que la estimación realizada con otro conjunto de muestras. Típicamente los resultados de diferentes estimaciones se promedian para obtener los valores de los parámetros que mejor representan el conjunto de datos.
- El número de muestras de medición utilizada por estimación. Un beneficio muy conocido de regresión de mínimos cuadrados es que al aumentar el número de muestras utilizadas para llevar a cabo una estimación ayuda a reducir el impacto del ruido

Para el ruido sistemática, estas variables tendrán poca influencia sobre la exactitud de cada método de estimación. Por el ruido aleatorio, estas variables

tendrán una gran influencia. Esto surge debido a las características de la naturaleza y estadísticas de cada tipo de ruido.

Para los fines de consistencia, el número de estimaciones y el número de muestras de medición utilizados por estimación se mantendrán el mismo, independientemente del

tipo de ruido presente. Para un tipo dado de desviación de ruido y por ciento, cada método de estimación realizará 500 estimaciones usando 500 conjuntos únicos de mediciones por estimación.

Después de que se han realizado todas las estimaciones, se promedia los valores de los parámetros producidos por las estimaciones individuales.

El análisis de sensibilidad se lleva a cabo utilizando el software MATLAB. Después se crean las mediciones, el usuario selecciona el tipo y la magnitud del ruido que se debe añadir. Las mediciones se hacen pasar entonces a los métodos existentes y propuestas donde se obtiene una estimación de los valores de los parámetros. Este proceso se repite hasta que se haya alcanzado el número deseado de estimaciones

### ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En esta sección, el rendimiento de cada método de estimación se evalúa cuando está presente en las mediciones sincrofasor ruido sistemática y ruido aleatorio. Una simulación diferente se llevará a cabo para cada uno de los cinco casos:

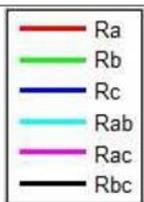
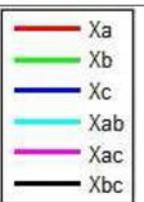
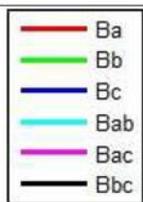
Ruido está presente en el voltaje extremo emisor

- La corriente extremo de envío
- En el voltaje extremo receptor
- En el extremo de recepción actual
- En todas las mediciones

Para cada caso, se informa el error medio por ciento en los valores de los parámetros estimados con respecto a los verdaderos valores de los parámetros.

Se produjo un total de tres parcelas para cada método de estimación. Las primeras parcelas muestra el error en los valores de resistencia frente al error en las mediciones. La segunda muestra el error en los valores de reactancia vs. el error en las mediciones. La tercera muestra el error en los valores de susceptancia vs. el error en las mediciones.

Desde las leyendas de cada una de estas parcelas no cambian de simulación para la simulación. Las leyendas se dan en la Tabla 10.

Gráficos de resistencia	Gráficos de reactancia	Gráficos d susceptancia
		

### RENDIMIENTO DE RUIDO SISTEMÁTICA

El rendimiento de los métodos de estimación cuando se añadió el ruido sistemático de las muestras de medición se presenta aquí.

Un resumen de las observaciones hechas a partir de estas cifras se puede encontrar a continuación. Hay que tener en cuenta que un valor de parámetro estimado se considera "sensible" al ruido sistemática cuando hay más de un diez por ciento de desviación del valor verdadero.

#### Observaciones método existente

- Los auto-resistencias y auto-reactancias son sensibles al ruido en las mediciones de voltaje extremo de envío y de recepción. o El método existente produce resultados precisos para todos los valores de parámetros para todos los demás casos.

#### Observaciones método propuesto

- Los parámetros susceptancia (tanto autónomos y de inversión) son sensibles al ruido en las mediciones de voltaje extremo de envío y de recepción.
- El método propuesto produce resultados precisos para todos los valores de parámetros para todos los demás casos

Para ambos métodos, hay una relación lineal entre el porcentaje de error en las mediciones y el porcentaje de error en los valores de los parámetros. Cuanto mayor sea la sensibilidad al ruido sistemática, mayor es la magnitud de la pendiente.

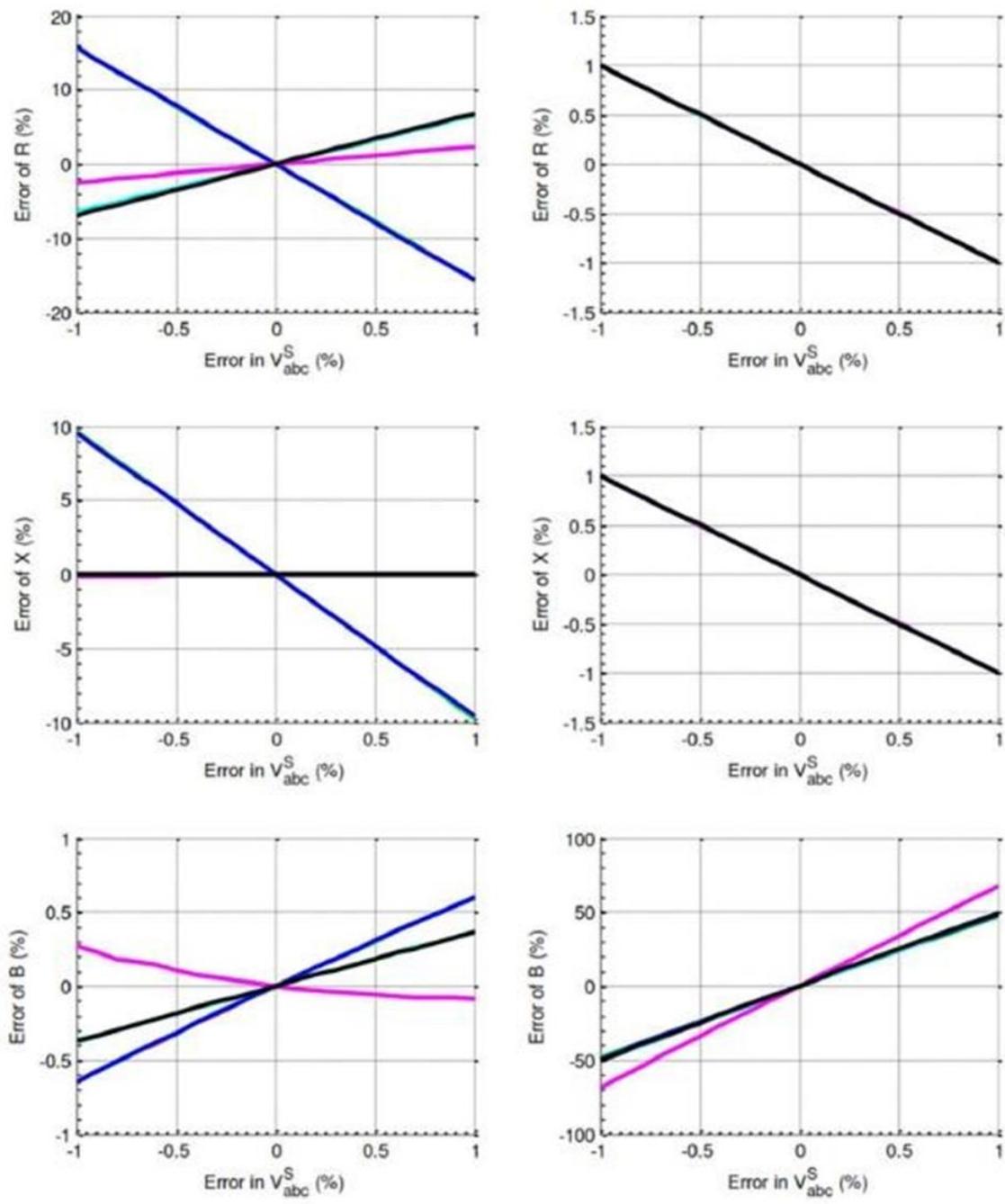


Figura 7: Desempeño cuando se considera el ruido sistemático en la corriente de llegada

Fuente: Elaboración propia

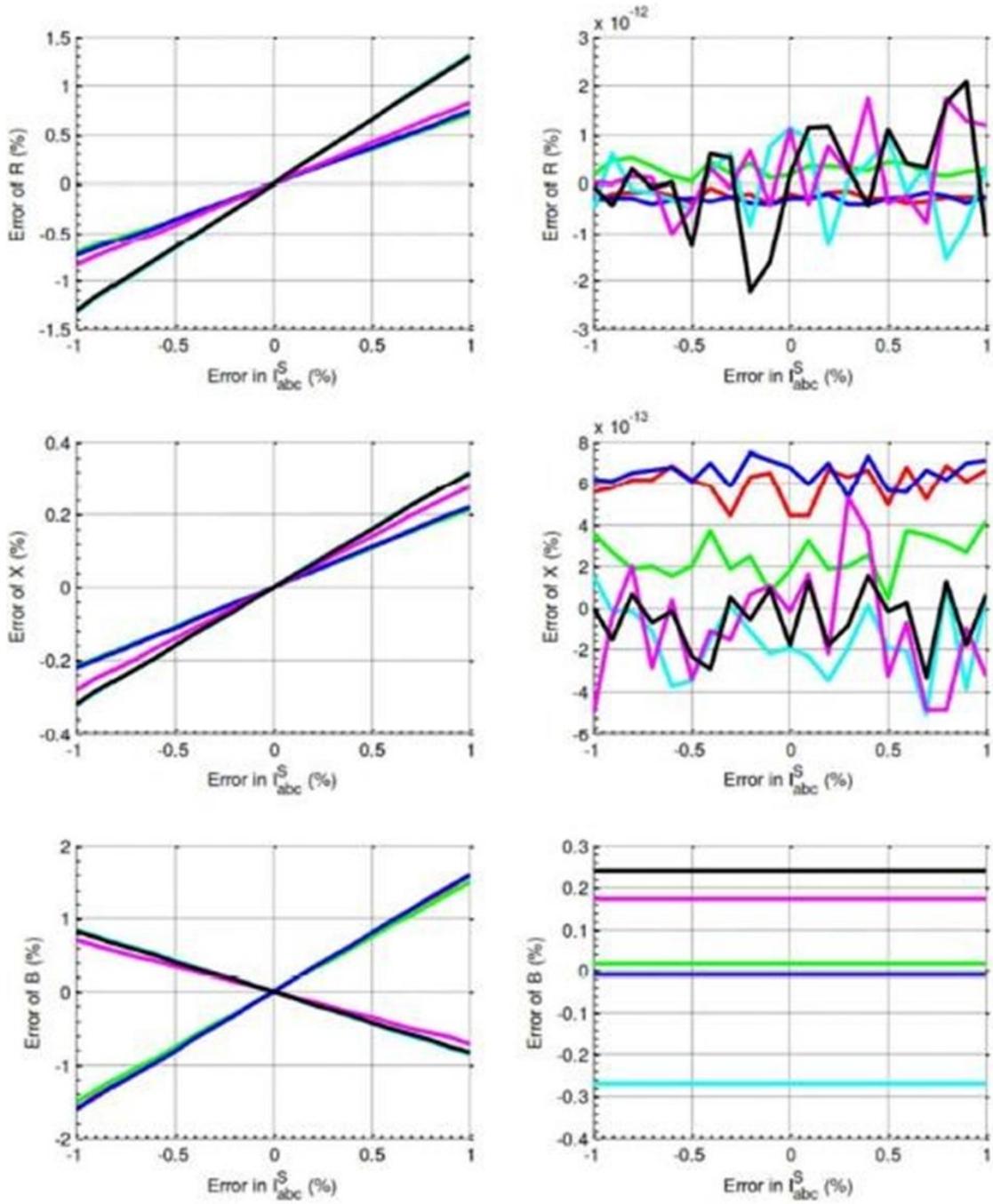


Figura 5: Desempeño cuando se considera el ruido sistemático en la corriente de envío  
Fuente: Elaboración propia

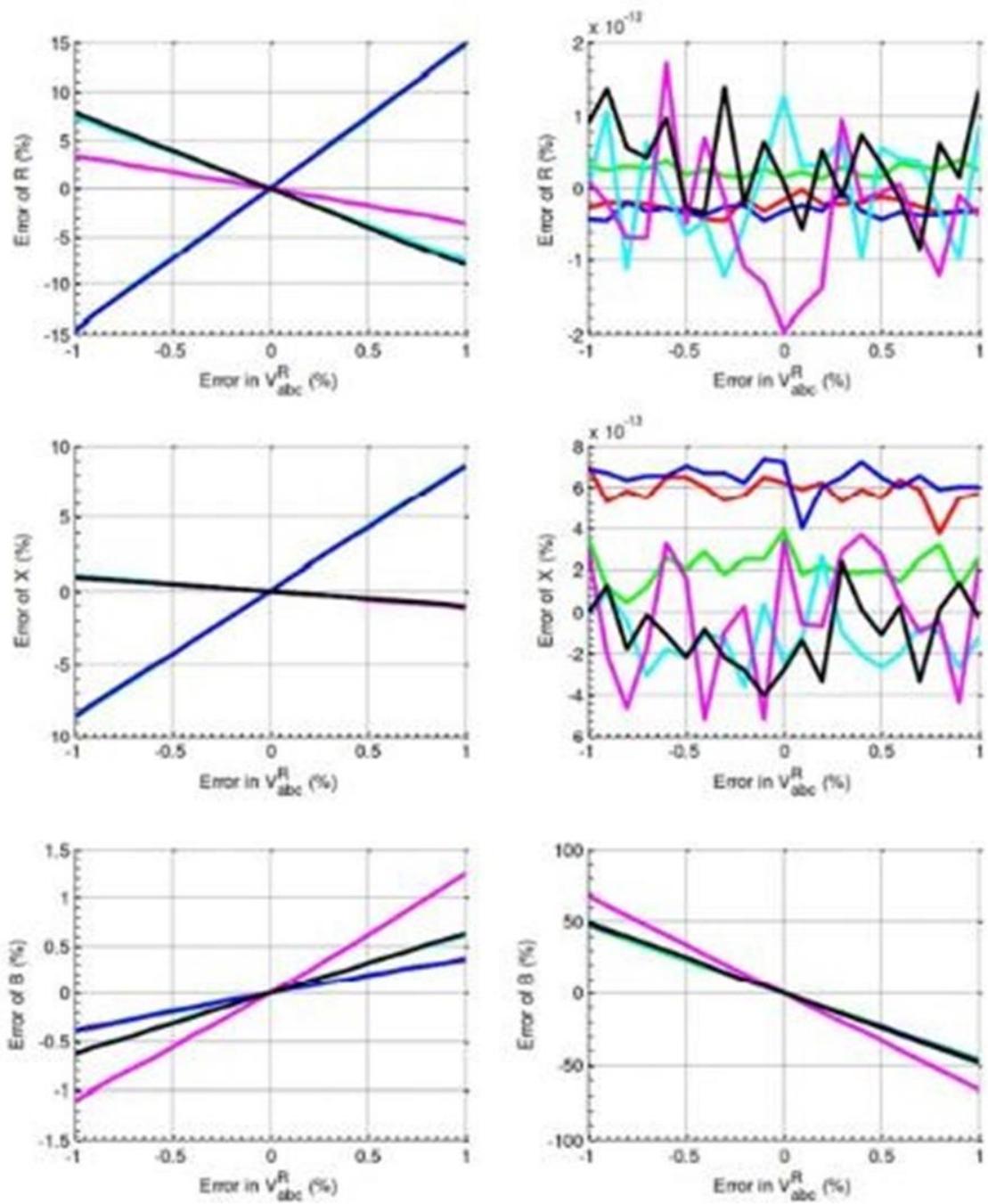


Figura 6: Desempeño cuando se considera el ruido sistemático en el voltaje de llegada

Fuente: Elaboración propia

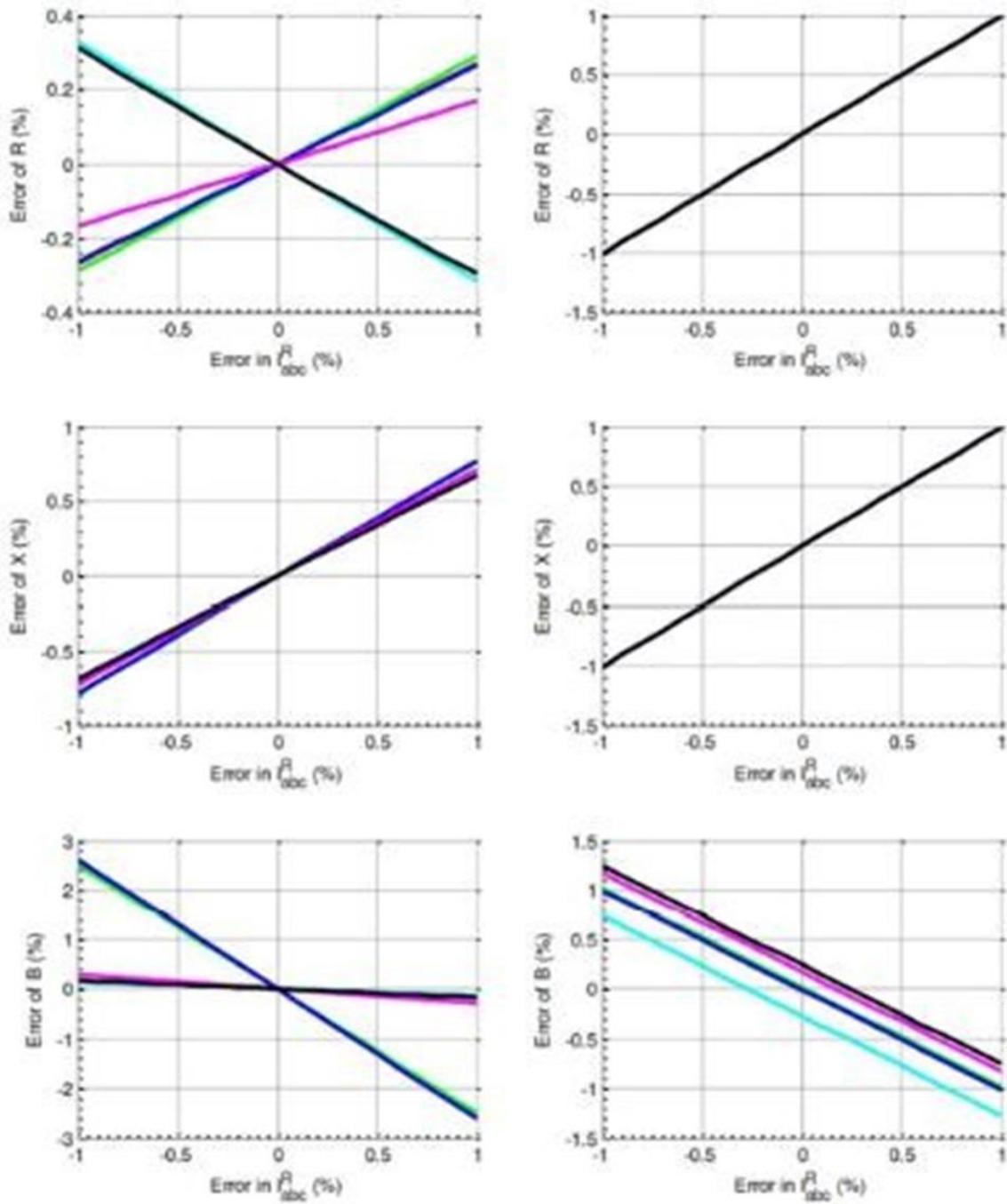


Figura 7: Desempeño cuando se considera el ruido sistemático en la corriente de llegada

Fuente: Elaboración propia

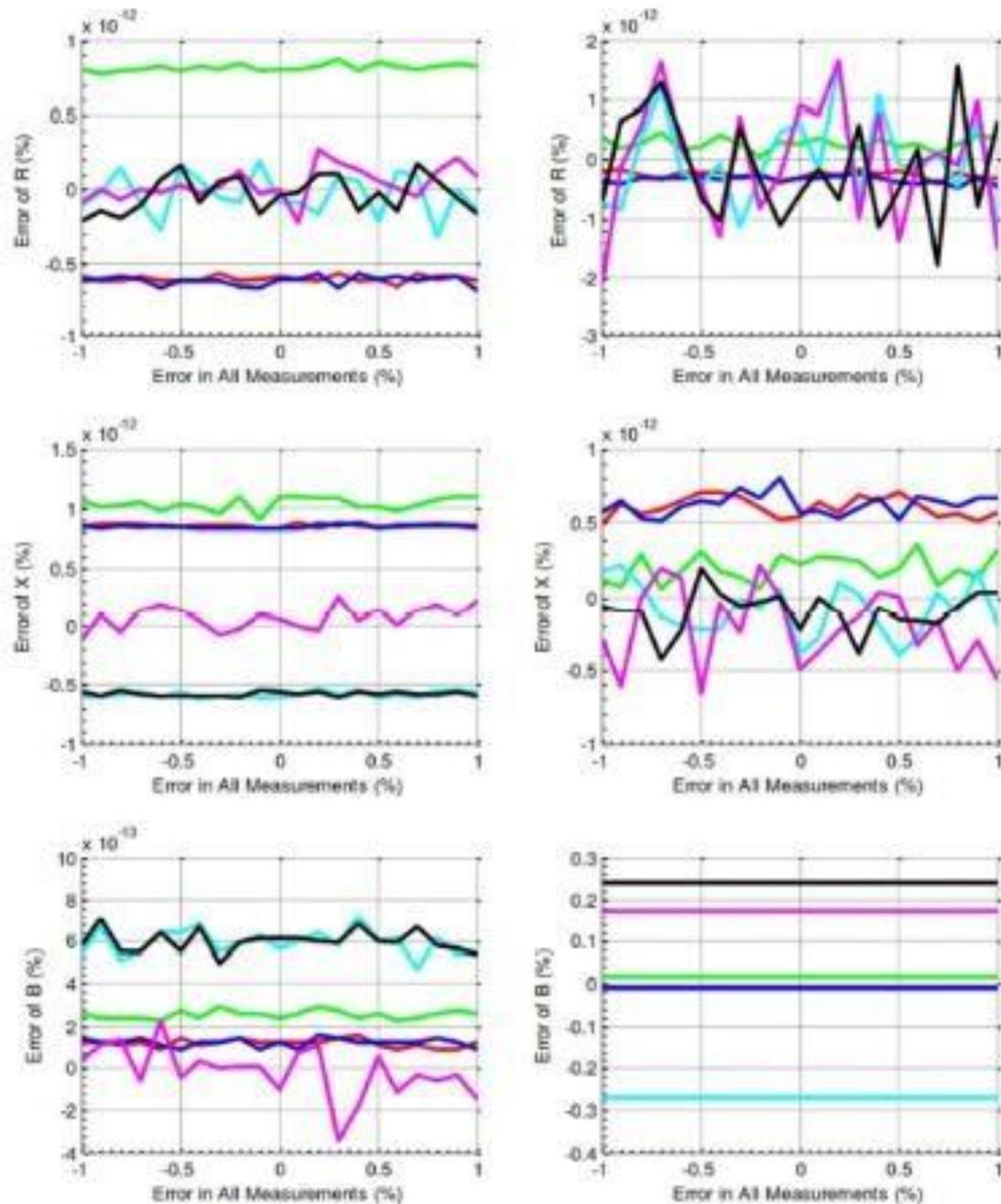


Figura 8: Desempeño cuando se considera el ruido sistemático en todas las Mediciones

Fuente: Elaboración propia

#### DESEMPEÑO CONSIDERANDO EL RUIDO ALEATORIO

El rendimiento de los métodos de estimación cuando se añadió el ruido aleatorio de las muestras de medición se presenta aquí. Hay un total de cinco cifras que muestran los resultados de la simulación - uno para cada uno de los casos descritos al comienzo de esta sección.

A continuación, las observaciones hechas a partir de estas cifras. Tener en cuenta que un valor de parámetro estimado se considera "sensible" al ruido aleatorio cuando hay más de un diez por ciento de desviación del valor verdadero

#### Observaciones método existente

- Los mutuos resistencias son sensibles al ruido en las mediciones de voltaje extremo de envío y de recepción.
- Algunos mutuos-reactancias muestran sensibilidad menor.
- El método existente produce resultados precisos para todos los valores de parámetros para todos los demás casos

#### Observaciones método propuesto

- Los parámetros susceptancia (tanto autónomos y de inversión) son sensibles al ruido en las mediciones de voltaje extremo de envío y de recepción.
- Los parámetros mutuo-susceptancia son sensibles cuando hay ruido en todas las mediciones.
- Los parámetros de auto-susceptancia muestran sensibilidad menor.
- El método propuesto produce resultados precisos para todos los valores de parámetros para todos los demás casos

La relación entre la desviación estándar del ruido añadido a las medidas y el porcentaje de error en los valores de los parámetros no está claro. Para ambos métodos, la magnitud del error por ciento tiende a aumentar con el aumento de la desviación estándar del ruido.

Las curvas producidas por el método propuesto no son tan suaves como los producidos por el método existente. Esto indica que hay una mayor varianza entre las estimaciones de parámetros realizados por el método propuesto

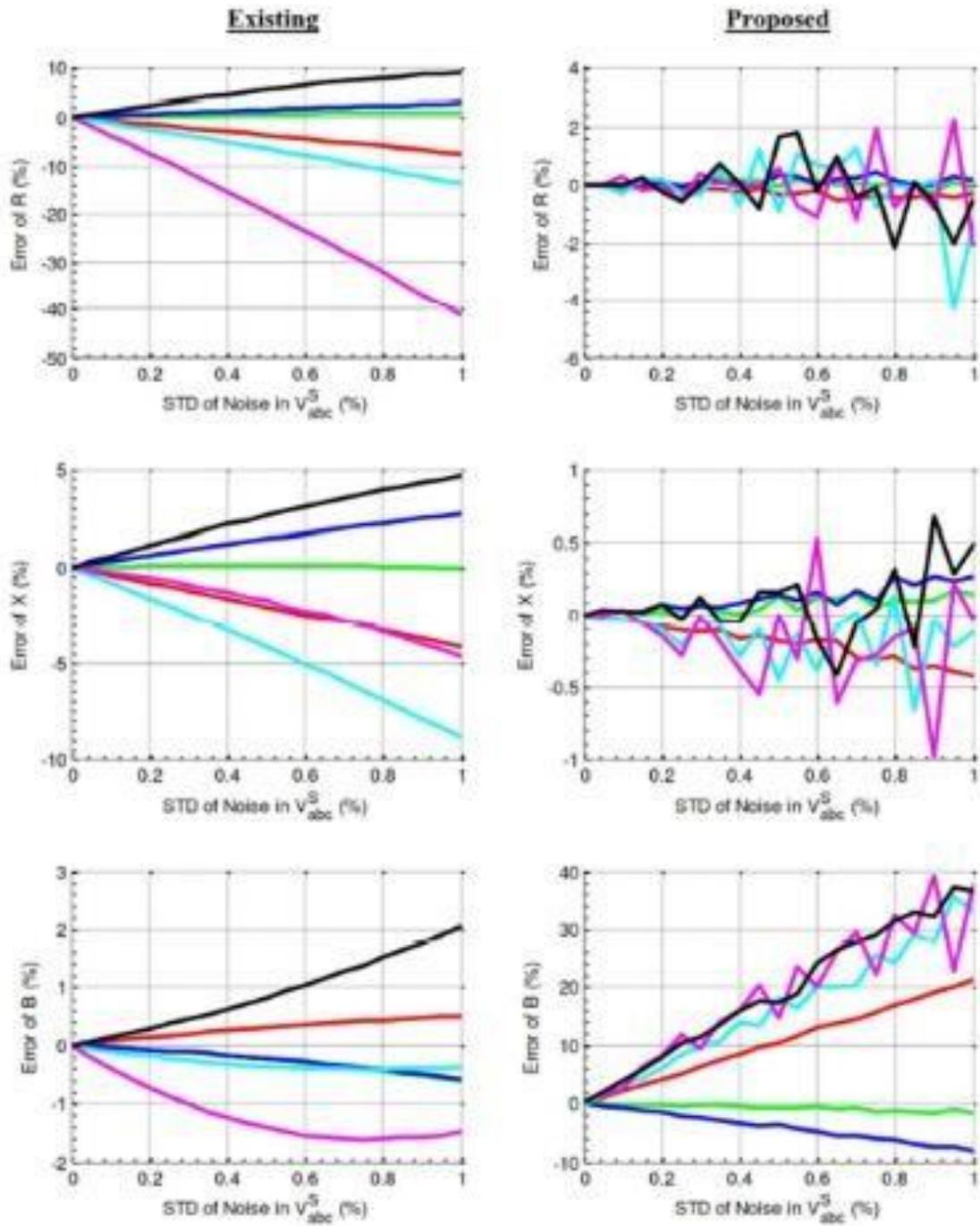


Figura 9: Desempeño cuando se considera el ruido aleatorio en el voltaje de Envío.  
Fuente: Elaboración Propia

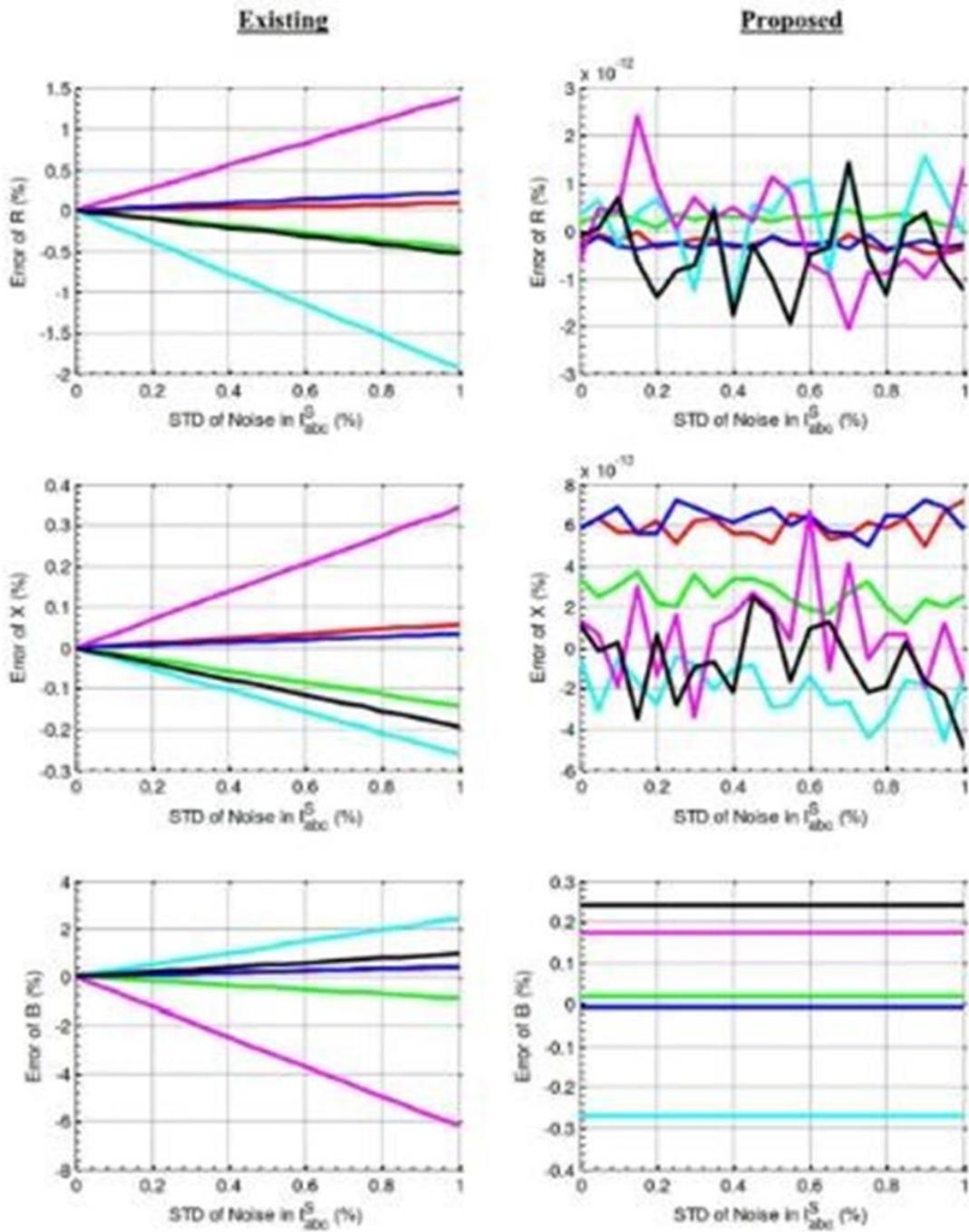


Figura 10: Desempeño cuando se considera el ruido aleatorio en la corriente de envío

Fuente: Elaboración propia

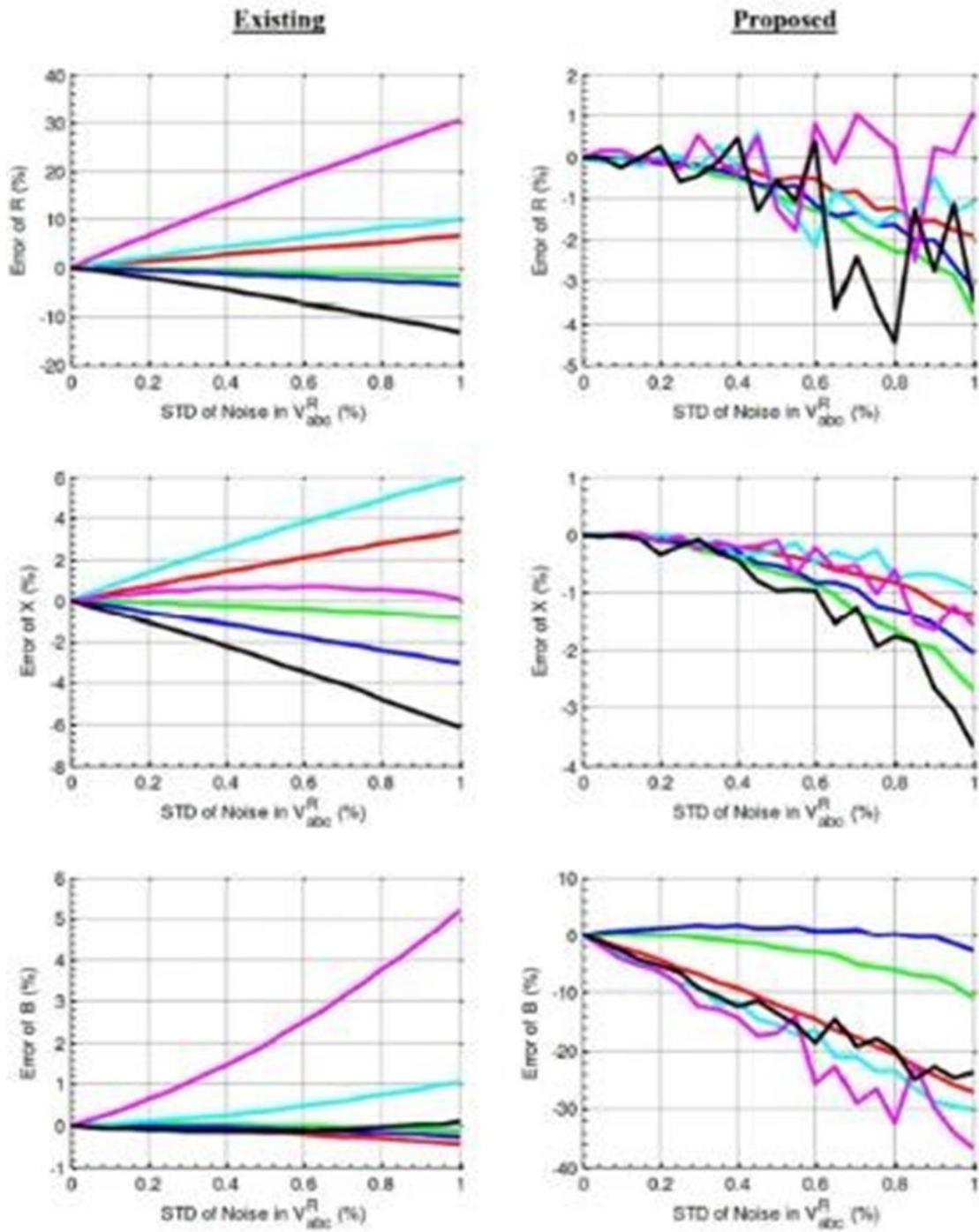


Figura 11: Desempeño cuando se considera el ruido aleatorio en el voltaje de llegada

Fuente: Elaboración propia

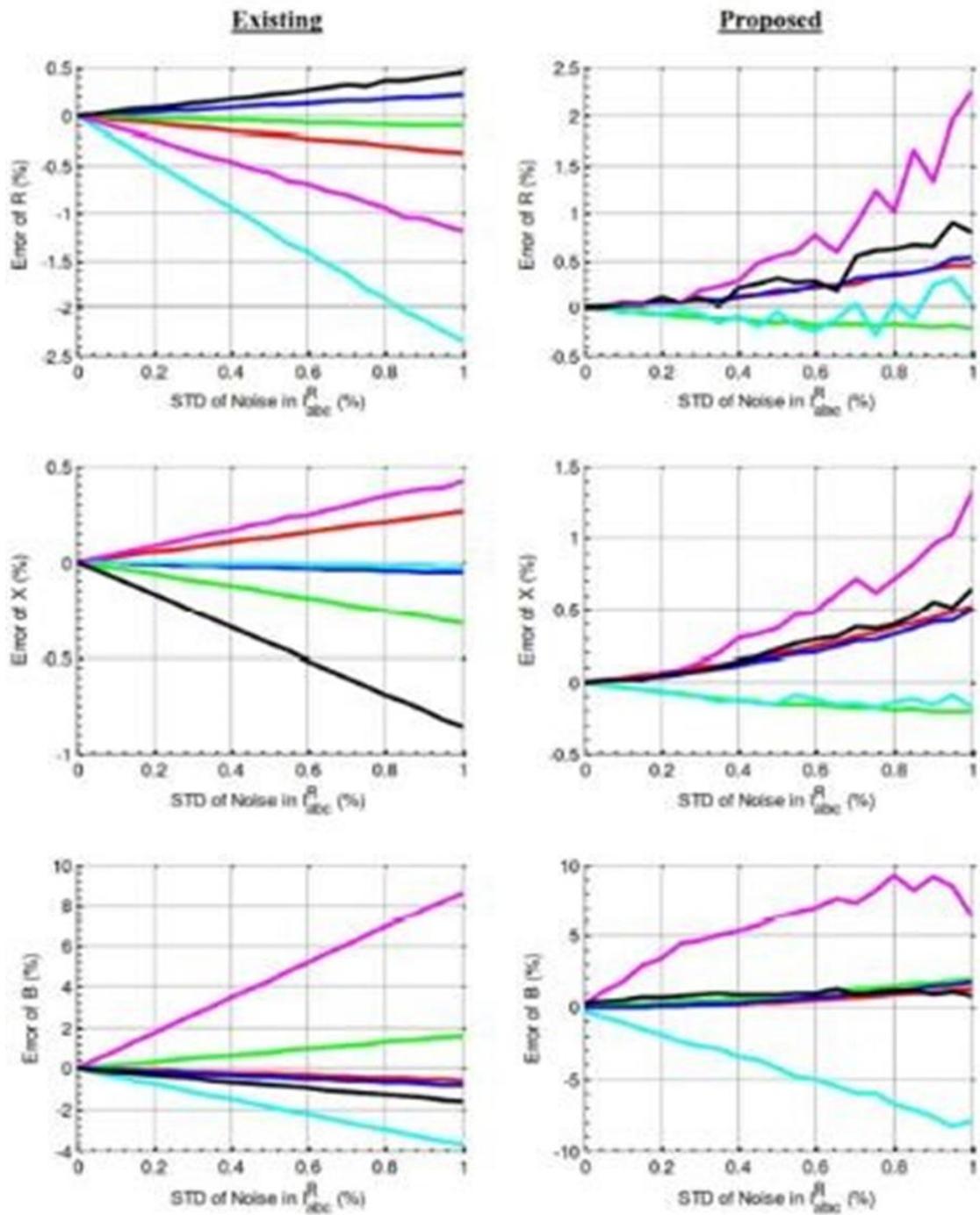


Figura 12: Desempeño cuando se considera el ruido aleatorio en la corriente de llegada

Fuente: Elaboración propia

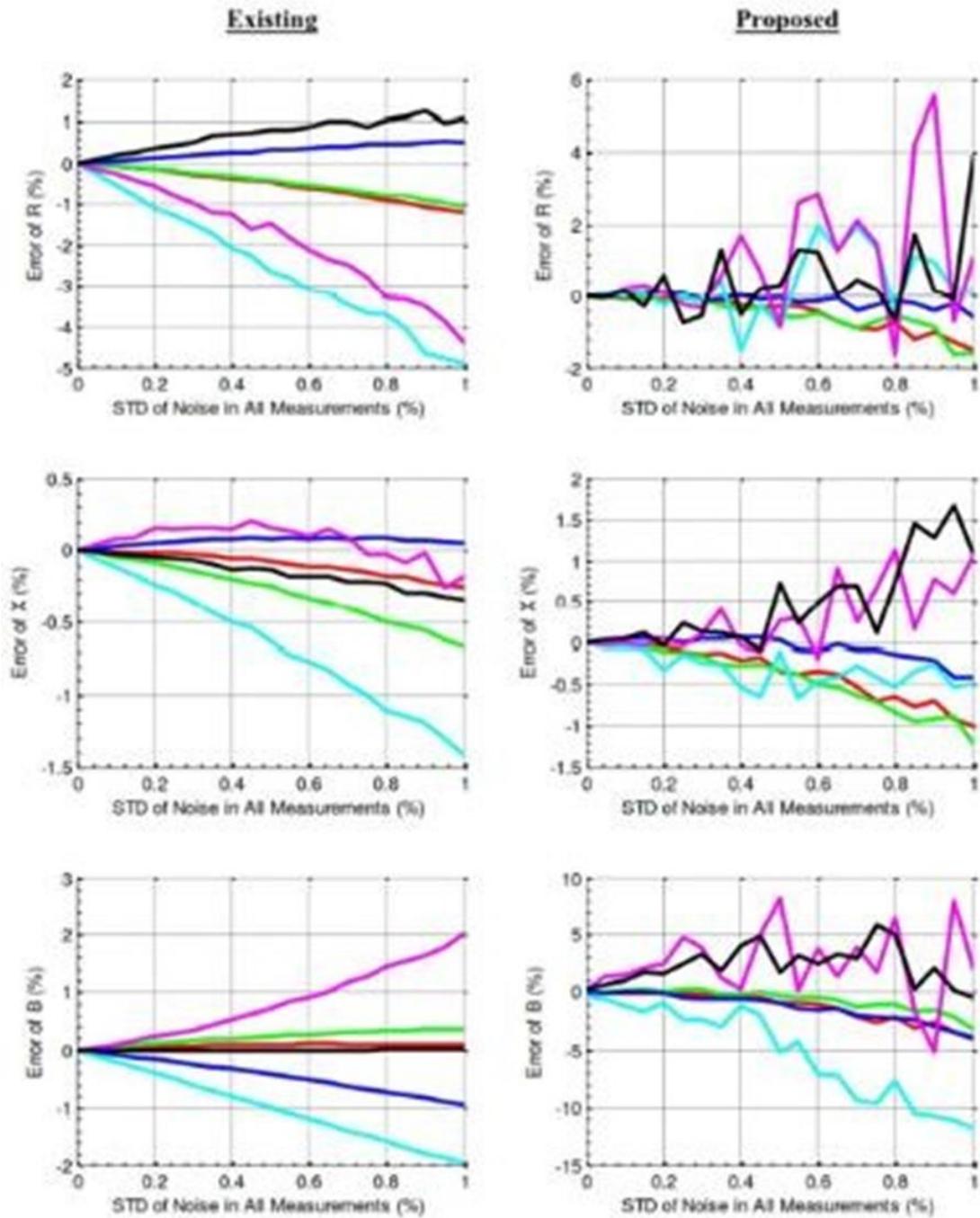


Figura 13: Desempeño cuando se considera el ruido aleatorio en todas las mediciones

Fuente: Elaboración propia

## VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

De los resultados del análisis de sensibilidad vemos que las mediciones de ruido pueden tener un impacto considerable sobre la exactitud de los métodos de estimación de la línea no se ha adaptado.

Las cifras anteriores muestran que el ruido es principalmente un factor cuando se está presente ya sea la tensión final de enviar o recibir. Hay muy poca desviación en los valores de parámetros cuando estaba presente en las corrientes finales que envían y reciben.

Para tener otra forma de evaluar el desempeño de los métodos de estimación, se elabora las tablas 11, 12 y 13. Estas tablas son Heatmaps que muestran el error máximo por ciento en un valor de parámetro en el rango de simulación (negativo a positivo uno por ciento) de error en las mediciones (ruido sistemático) o la desviación estándar en las mediciones (ruido aleatorio). La clave para cada mapa de calor se encuentra a continuación:

Porcentaje máximo de error en los valores parámetros		
Menos de 5%	Entre 5% y 10%	En más del 10%

Tabla 11: Leyenda de mapa de colores Fuente: Elaboración propia

	Mediciones con ruido sistemático									
	Método existente					Método Propuesto				
V	$S_{abc}$	$I_{abc}^S$	$V_{abc}^R$	$I_{abc}^R$	ALL	$V_{abc}^S$	$I_{abc}^S$	$V_{abc}^R$	$I_{abc}^R$	TODO
$R_a$										
$R_b$										
$R_c$										
$R_{ab}$										
$R_{ac}$										
$R_{bc}$										
$X_a$										
$X_b$										
$X_c$										
$X_{ab}$										
$X_{ac}$										
$X_{bc}$										
$B_a$										
$B_b$										
$B_c$										
$B_{ab}$										
$B_{ac}$										
$B_{ab}$										

Tabla 12: Mapa de color de ruido sistemático Fuente: Elaboración propia

Después de comparar el rendimiento de cada método de estimación, podemos hacer las siguientes afirmaciones:

- El método propuesto produce la búsqueda precisa de los parámetros de resistencia.
- El método propuesto produce la búsqueda precisa de los parámetros de reactancia.
- El método existente produce la búsqueda precisa de los parámetros de susceptancia

Estas afirmaciones son válidas en general, independientemente del tipo (sistemático o aleatorio) o la ubicación (envío / recepción de tensión final o corriente) del ruido añadido a las mediciones sincrofasor.

Esto se validan mediante la observación de la Heatmaps. Vemos que para los parámetros de resistencia y reactancia hay varias plazas más amarillos y rojos en los cuadrantes método existente, en comparación con los cuadrantes método propuesto. Para los parámetros susceptancia hay varios cuadrados más amarillos y rojos en los cuadrantes método propuesto en comparación con los cuadrantes método existente.

Los resultados más precisos para los parámetros de línea de una línea no traspuesta se pueden lograr mediante el uso de una combinación de ambos métodos de estimación. Esto está dado que el tipo y la ubicación de ruido es desconocido para el usuario, y que existe una amplia muestra de medición disponibles para la estimación. El nuevo método híbrido estimaría los parámetros de resistencia y reactancia utilizando la técnica de estimación descrito por el método propuesto. Sería estimar los parámetros susceptancia utilizando las técnicas de estimación descritos por el método existente.

## **VII. CONCLUSIONES**

1. Se presenta un nuevo método para estimar los parámetros de una línea de transmisión no traspuesta.
2. El método queda validado con las simulaciones de sobrecarga una línea de fase no traspuesta luego de haberse modelada en el software ATP. Tres mediciones de voltaje de fase y de corriente se adquirieron de los extremos de envío y recepción de la línea mediante la simulación de diferentes condiciones de carga.
3. Las mediciones se aplican al método y los parámetros estimados resultantes se compararon contra los valores de los parámetros de ATP. En este caso se obtuvo un error menor del uno por ciento en cada uno de los 18 parámetros desconocidos.
4. Del análisis se encontró que los métodos de estimación son principalmente sensibles a los errores en los voltajes terminales de envío y recepción. El método

propuesto para líneas no traspuesta proporcionan mejores estimaciones para los parámetros de resistencia y reactancia.

## VIII. RECOMENDACIONES

1. Utilizar las técnicas de estimación descritos por el método existente para estimar los parámetros susceptancia.
2. Para resultados de mayor precisión de los parámetros de línea de una línea no traspuesta se recomienda usar una combinación de ambos métodos de estimación, existente y propuesto.
3. Repetir el análisis para ambos tipos de ruido, pero para el caso en el que cada fase de una cantidad medida es perturbado por una cantidad diferente de ruido.
4. Otros esfuerzos de investigación futuros se recomienda centrarse en la aplicación de medidas reales PMU a los métodos de estimación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Aceitón Román, Daniel Antonio. 2018.** *Estimación de Capacidad Dinámica de Líneas de Transmisión utilizando PMU.* Santiago : Universidad Técnica Federico Santa María, 2018.

**Alarcon Monteza, Denis Dilthey. 2021.** *Implementación de un sistema de monitoreo y control en tiempo real para el análisis predictivo de un sistema eléctrico de potencia con generación distribuida.* Lima : Universidad de Ingeniería y Tecnología, 2021.

**Forero Rodriguez, Jaime Andres. 2021.** *Estimador de estado con PMU virtual en GridTeractions.* Bogotá : Universidad de los Andes, 2021.

**González Carrillo, Carlos Alberto. 2017.** *Estimación de estado de sistemas de potencia considerando mediciones scada y pmu.* Salamanca : Universidad de Guanajuato, 2017.

**Inostroza Espejo, Nicolas Ricardo. 2018.** *Tecnologías de la información y comunicación aplicadas en procesos de distribución de energía eléctrica.* Valparaíso : Universidad Técnica Federico Santa María, 2018.

**Nolasco Contreras, Ernesto Marcheli. 2012.** *Estimación de estados de sistemas eléctricos de potencia considerando mediciones fasoriales.* Ciudad de México : Universidad Nacional Autónoma de México, 2012.

**Olarte Dussán, Fredy Andrés, Borda Zapata, Eduardo Carlos y Díaz Morales, Hernando. 2010.** *Identificación de parámetros de líneas de transmisión usando estimación de estado.* Bogotá : Ingeniería E Investigación, 2010.

**Pelaez Mejia, Oswaldo Fernando y Toapanta Narvaez, Danny Miguel. 2015.** *Ubicación óptima de unidades de medición fasorial en sistemas de transmisión.* Quito : Universidad Politécnica Salesiana, 2015.

**Romacho, Dolores. 2010.** *Teoría de la medida. Cálculo de errores.* Almería : Universidad de Almería, 2010.

**Sacasqui Huaito, Marcos Rogger. 2014.** *Implementación y diseño de un estimador de estado para el sistema eléctrico de potencia de arequipa validación.* Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2014.

**Saraguro Ramirez, Roberth Alcides. 2020.** *Estimación de estado en redes de subtransmisión utilizando mediciones históricas fasoriales y convencionales.* Quito : Escuela Politécnica Nacional, 2020.

**Trelles Vilcamasco, Berly. 2018.** *Metodología para determinar parámetros de una línea de transmisión utilizando técnicas de estimación de estado.* Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018.

**Vidal León Romay, Omar Yamil. 2016.** *Estimación de parámetros de líneas de transmisión en sistemas eléctricos de potencia.* Ciudad de México : Instituto Politécnico Nacional, 2016.

**Yánez Rojas, Stefany Fernanda. 2020.** *Modelo dc de las ecuaciones de potencia aplicado a la estimación de estado en sistemas electricos.* Quito : Universidad Politécnica Salesiana, 2020.

## IX. ANEXOS

### 8.1. Matriz de Consistencia

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES	TECNICAS E INSTRUMENTACION	METODOLOGIA
El estado de los sistemas eléctricos de potencia es estimado a partir del estimador de estado el cual usa un conjunto de datos de mediciones y datos de parámetros de red, por lo tanto, el desempeño del estimador depende de la precisión de las mediciones, si se lleva a cabo la estimación de estado con valores incorrectos de parámetros de la línea,	O.G.1 Determinar la relación entre las técnicas de estimación de estado y la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022	Hipótesis General:  H.G. Existe relación entre las técnicas de estimación de estado y la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022	<b>VARIABLE 1</b>  Estimación de estado  <b>Dimensiones e Indicadores:</b>  <b>D1:</b> mediciones SCADA  <b>I1:</b> Flujo de Potencia Activa  <b>I2:</b> Flujo de Potencia reactiva	<b>Técnicas:</b>  Encuesta  Según lo expuesto por el autor, la encuesta para el presente trabajo de investigación es una técnica que consiste en obtener información de las personas encuestadas mediante el uso de cuestionarios diseñados en forma previa para la obtención de información específica.	<b>Tipo y Diseño de la Investigación:</b>  Para el presente trabajo de investigación:  <b>Tipo de Investigación:</b> Aplicada  <b>Diseño de la Investigación:</b> NO EXPERIMENTAL – TRANSVERSAL  <b>Nivel de la Investigación:</b> DESCRIPTIVO-CORRELACIONAL

<p>el operador puede considerar que el sistema se encuentra en condiciones estables cuando realmente no lo está, lo que puede hacer que una parte o hasta el sistema de forma íntegra puede entrar a un estado de emergencia, aislando áreas e incluso desconectando elementos de la red.</p>			<p><b>I3:</b> Corriente a través de una línea</p> <p><b>D2:</b> Mediciones PMU</p> <p><b>I1:</b> Flujo de corriente real</p> <p><b>I2:</b> Flujo de corriente imaginaria</p> <p><b>I3:</b> Magnitud y ángulo de voltaje nodal</p>	<p><b>Instrumento:</b></p> <p>Cuestionario</p> <p>El cuestionario para el presente trabajo de investigación servirá de herramienta de investigación que consiste en una serie de preguntas y otras indicaciones con el propósito de obtener información de los consultados.</p>	
<p>Problema General:</p> <p>P.G.1 ¿Cuál es la relación entre las técnicas de estimación de estado y la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <p><b>PE1:</b> ¿cuál es la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022?</p> <p><b>PE2:</b> ¿Cómo evaluar la capacidad de las mediciones fasoriales y su relación con la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022?</p> <p><b>PE3:</b> ¿cuál es el método que valide las técnicas de estimación de estado y la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022?</p>	<p>Objetivos Específicos:</p> <p><b>OE1:</b> Identificar la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022</p> <p><b>OE2:</b> Evaluar la capacidad de las mediciones fasoriales y su relación con la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022</p> <p><b>OE3:</b> Desarrollar un método que valide las técnicas de estimación de estado y la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022</p>	<p><b>Hipótesis Específicas:</b></p> <p><b>HE1:</b> Se puede estimar los parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022</p> <p><b>HE2:</b> Existe relación entre la capacidad de las mediciones fasoriales y su relación con la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022</p> <p><b>HE3:</b> Existe un método que valide las técnicas de estimación de estado y la estimación de parámetros en líneas de transmisión de energía Eléctrica, Perú 2022</p>	<p><b>Variable Independiente:</b></p> <p>Estimación de parámetros</p> <p><b>Dimensiones e Indicadores:</b></p> <p>D1: Exactitud</p> <p>I1: Ruido en las mediciones</p> <p>I2: Acoplamiento mutuo entre las líneas</p>		<p><b>Población Y Muestra:</b></p> <p><b>Población:</b></p> <p>De lo expuesto por los autores, mi población es de tipo finita, para el presente trabajo de investigación la población está conformado por las redes de prueba del IEEE.</p> <p><b>Muestra:</b></p> <p>la muestra es de 2 redes de prueba del IEEE de 37 y de 9 nodos para simulaciones y validación de resultados.</p> <p>Media Poblacional (n):</p> $n = \frac{100 \times 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2(100 - 1) + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}$ <p>= 79.509</p> <p>El tamaño de mi muestra será de 92 obras de distribución eléctrica rurales manejadas por la Dirección General de Electrificación Rural.</p>