

IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Ing. Rafael Cabezas Soldevilla
rcabezas@etecen.com.pe

*Supervisor de Proyectos de Empresa de
Transmisión Eléctrica Centro Norte S.A. (ETECEN)
Profesor de la Facultad de Ingeniería Electrónica UNMSM*

Resumen: La planificación, operación, mantenimiento y tarificación de los sistemas de transmisión están basados en el conocimiento con buena precisión de sus variables de operación: potencias activas, potencias reactivas, voltajes y ángulos de fase. Estas variables de operación se calculan y en general son funciones de los parámetros físicos del sistema de transmisión: resistencias, reactancias inductivas, capacitancias y conductancias de fuga. En el Sistema de Transmisión de Energía Eléctrica Centro Norte, se ha detectado que se desconocen los valores verdaderos de los parámetros físicos de muchas de las líneas de transmisión debido a que han variado significativamente con el tiempo, contaminación y condiciones adversas de trabajo o debido a que sus valores nominales originales no fueron adecuadamente determinados, esto se comprueba por que los valores medidos de sus variables de operación difieren de sus correspondientes valores calculados (en algunas variables la diferencia es notable, como es el caso de las potencias activas, potencias reactivas y pérdidas) lo que indica que los valores verdaderos de los parámetros físicos (con que se calculan las variables de operación) no son los correctos, lo que está generando muchos problemas en el sector eléctrico.

Abstract: the planning, operation, maintenance and rating of transmission systems are based on the accurate knowledge of the operating variables of these lines: active powers, reactive powers, voltages and phase angles. Those operating variables are calculated and based on the physical transmission system parameters. Resistances, inductive reactances, leakages capacitances and conductances. In the electrical power transmission system (North-Center Area) it has been found that on many transmission lines the physical parameters's true values are unknown due to the following factors: Significant changes due to aging, pollution and adverse operation conditions or because of parameters with poorly calculated original rated values. In addition, this deviation may be verified because its operation variables's measured values depart from its respective calculated values (in some variables the deviation is fairly significant, as is the case with the active powers, reactive powers and power losses) which is indicative that physical parameters's true values (values usually used for the calculation of operating variables) are not in keeping with the correct ones, and therefore, such deviation is giving rise to a lot of troubles within the electrical, area.

Palabras Claves: estimación de parámetros, estimación de estado, pérdidas de transmisión, mínimos cuadrados, observabilidad

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo describe el desarrollo y la identificación de un modelo matemático dinámico (con valores variables de los parámetros físicos) que se comporta como el sistema real de transmisión. La identificación se hace simulando la operación del modelo y variándolo iterativamente (utilizando técnicas de estimación y optimización tales como mínimos cuadrados ponderados y el filtro de Kalman) durante diversas series de tiempo, hasta encontrar la operación simulada que se identifique con la operación real del sistema de transmisión, durante las mismas series de tiempo. La operación real es obtenida de la base de datos en tiempo real de las variables de operación del sistema de transmisión. Los valores correctos de los parámetros físicos serán aquellos que correspondan a la operación simulada identificada.

Los parámetros que serán identificados son los siguientes:

Resistencias R ohms/Km fase, Reactancias inductiva XL ohms/Km fase, Capacitancias C faradios/Km fase, Conductancias fuga Y umhos/Km fase y corresponden a todas las líneas del sistema de transmisión.

El trabajo esta organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se describe la filosofía del problema de estimación de parámetros, aquí se incluye la descripción de la simbología, el modelo del sistema de transmisión, la formulación del problema y su solución. En la sección 3 se presentan y discuten los resultados de los parámetros identificados de las líneas. En la sección 4 se presentan las conclusiones. La bibliografía recomendada se presenta en la sección V.

II. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se usará la siguiente simbología:

$k = 1, 2, \dots, k, \dots, N$

Es un intervalo genérico de tiempo en que se toman las mediciones

$\mathbf{x}(k)$ Vector de estado, representa las magnitudes de voltajes nodales y de los ángulos de desfase en el intervalo k , $\dim[\mathbf{x}] = 2n - 1$, donde n es el número de las barras.

\mathbf{p} Vector de parámetros físicos : resistencias, reactancias inductivas, capacitancias y conductancias de fuga ; $\dim[\mathbf{p}] = L$

\mathbf{p}^0 Vector de valores de los parámetros físicos iniciales

$\mathbf{y}(\mathbf{x}(k), \mathbf{p}, k)$

Vector de las variables de operación : potencias activas, potencias reactivas y voltajes ; $\dim[\mathbf{y}] = m$

$\mathbf{z}(k)$ Vector de valores medidos de las variables de operación; $\dim[\mathbf{z}] = m$

$\mathbf{dz}(k)$ Vector de error residual de los valores medidos de las variables de operación.

$\mathbf{R}(k)$ Matriz covarianza del error residual $\mathbf{dz}(k)$ o matriz de calidad de los medidores.

\mathbf{M} Matriz covarianza del error residual \mathbf{w} de los parámetros físicos respecto a sus valores nominales o matriz de desconfianza de los parámetros iniciales

En cada intervalo de medición k se cumple:

$$\mathbf{z}(k) = \mathbf{y}(\mathbf{x}(k), \mathbf{p}, k) + \mathbf{dz}(k)$$

Teniendo en cuenta esto, una función natural del error de todo el sistema, ponderando la calidad de los medidores es :

$$J = \sum_{k=1}^N [dz(k)]^T R^{-1} [dz(k)]$$

Incorporando los valores iniciales de los parámetros se tendrá:

$$J_M = (p^0 - p)^T M^{-1} (p^0 - p) + J$$

El proceso de identificación consiste en determinar los valores de $x(k)$ y p para $k = 1, \dots, N$ que hacen mínimo J_M . Estos serán los valores de los parámetros físicos y de las variables de estado.

2.1. Modelo Matemático del sistema real de transmisión

El modelo que se ha usado para cada una de las líneas es el modelo PI para líneas de longitud media con cargas balanceadas y para estado estacionario.

Este modelo se adecua muy bien a la mayoría de las líneas. Las figuras 1 y 2 describen el modelo y las variables y parámetros involucrados.

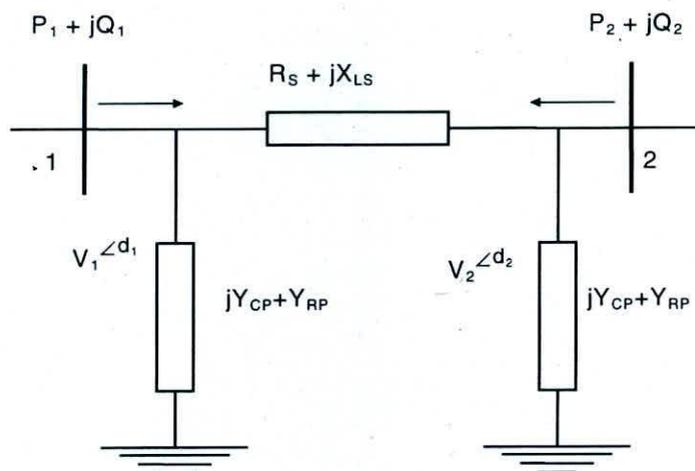


Figura 1. Modelo PI para representar una línea de transmisión

$$\begin{aligned}
 P1 &= (V1)^2 YR + (V1)^2 \frac{R}{(R^2 + XL^2)} - RV1V2 \frac{\cos(D)}{R^2 + XL^2} + XLV1V2 \frac{\sin(D)}{R^2 + XL^2} \\
 P2 &= V1^2 YR + V1^2 \frac{R}{R^2 + XL^2} - RV1V2 \frac{\cos(D)}{R^2 + XL^2} - XLV1V2 \frac{\sin(D)}{R^2 + XL^2} \\
 Q1 &= V1^2 YC + V1^2 \frac{XL}{(R^2 + XL^2)} - RV1V2 \frac{\sin(D)}{R^2 + XL^2} - XLV1V2 \frac{\cos(D)}{R^2 + XL^2} \\
 Q2 &= V1^2 YC + V2^2 \frac{XL}{(R^2 + XL^2)} + RV1V2 \frac{\sin(D)}{R^2 + XL^2} - XLV1V2 \frac{\cos(D)}{R^2 + XL^2}
 \end{aligned}$$

Figura 2. Ecuaciones del modelo PI de líneas de transmisión

Las fórmulas correspondientes a pérdidas son las siguientes:

Pérdida Activa:

$$P_p = YR*(V_1^2 + V_2^2) + R/(R^2 + XL^2)*(V_1^2 + V_2^2 - 2*V_1*V_2*\cos(D))$$

El primer sumando representa las pérdidas transversales en la línea. El segundo sumando representa las pérdidas Joule de la línea.

Pérdidas Reactivas

$$P_Q = -YC*(V_1^2 + V_2^2) + XL/(R^2 + XL^2)*(V_1^2 + V_2^2 - 2*V_1*V_2*\cos(D))$$

El primer sumando representa la generación reactiva de la línea. El segundo sumando representa las pérdidas reactivas de la línea.

2.2. Metodología para determinar los parámetros de las líneas

En general, el planteamiento para resolver el problema de identificación de parámetros se muestra en la figura 3 y es el siguiente:

Se determina un modelo matemático inicial del sistema real de transmisión (figuras 1 y 2)

Se toman mediciones periódicas de las variables de operación del sistema real de transmisión. Las mediciones son depuradas, eliminándose los bloques horarios donde no hubo transmisión que sean evidentemente erróneas.

Se compara el sistema real (mediciones) con el modelo del sistema. Si la magnitud del error supera un valor máximo permitido, se realiza la corrección de valores de los parámetros físicos y de las variables de estado y se repite la comparación.

Este proceso se continua hasta que la magnitud del error permitido y se ha conseguido entonces la identificación de los parámetros.

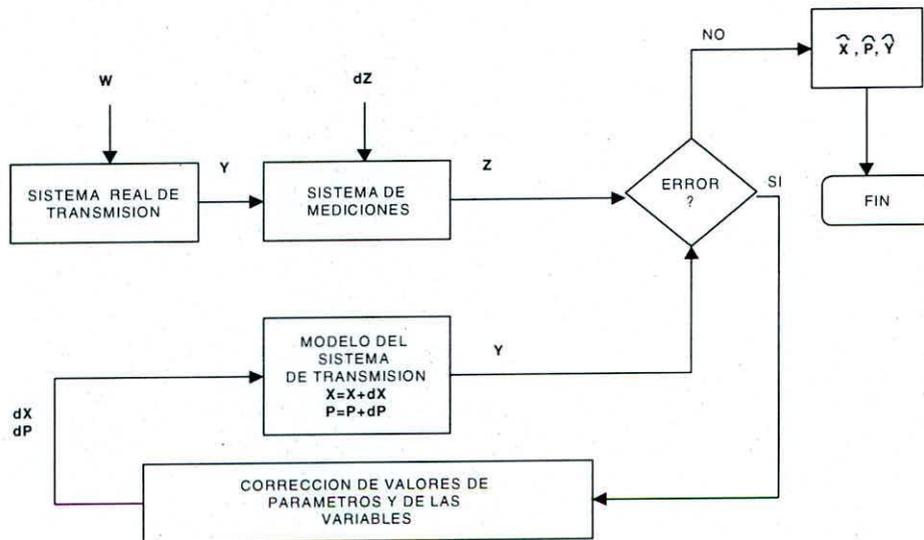


Figura 3. Proceso de la identificación de parámetros físicos del sistema de transmisión.

La representación es multidimensional debido al número de parámetros físicos y variables de estado.

Se trata de determinar el conjunto de vectores de operación $y(p)$ que se ajustan al conjunto de vectores de medición Z en la serie de tiempo seleccionada.

Cada conjunto de vectores de operación $y(p)$ se calcula usando el estimador de estado.

En cada iteración se van corrigiendo los parámetros mediante dp que es una corrección óptima determinada mediante técnicas de optimización.

El problema de determinación de parámetros es un problema de optimización de una función no lineal, multidimensional que tiene muchas soluciones matemáticas.

La solución física correcta (parámetros físicos) debe cumplir dos condiciones: error mínimo de reconstrucción y coherencia física.

El error mínimo de reconstrucción significa que al reemplazar los parámetros físicos en el modelo se deben reconstruir los valores medidos con bastante aproximación. Esto se asegura con la observabilidad de la red y confirmando un error mínimo de estimación

$$dp = \left\{ \sum_1^N [M^T R^{-1} M] + M^{-1} \right\}^{-1} \left\{ \sum_1^N M^T R^{-1} [z - y(x, p)] + M^{-1} (p^0 - p) \right\}$$

En la figura 4 se describe lo anterior con mayor precisión:

La coherencia física significa que los resultados deben tener explicación física, en este caso se debe cumplir lo siguiente:

La resistencia unitaria encontrada debe ser por lo general, mayor que la resistencia unitaria de un coinductor nuevo. Esto es debido a envejecimiento, corrosión o contaminación del conductor. En algunos casos podría resultar ligeramente menor, debido a que la longitud de la línea no es exactamente la indicada.

La inductancia y la capacitancia unitarias solo pueden variar ligeramente, debido a que dependen fuertemente de la geometría de las líneas.

La conductancia de fuga unitaria no tiene restricciones porque dependen de variables estocásticas externas tales como humedad, temperatura, salinidad etc.

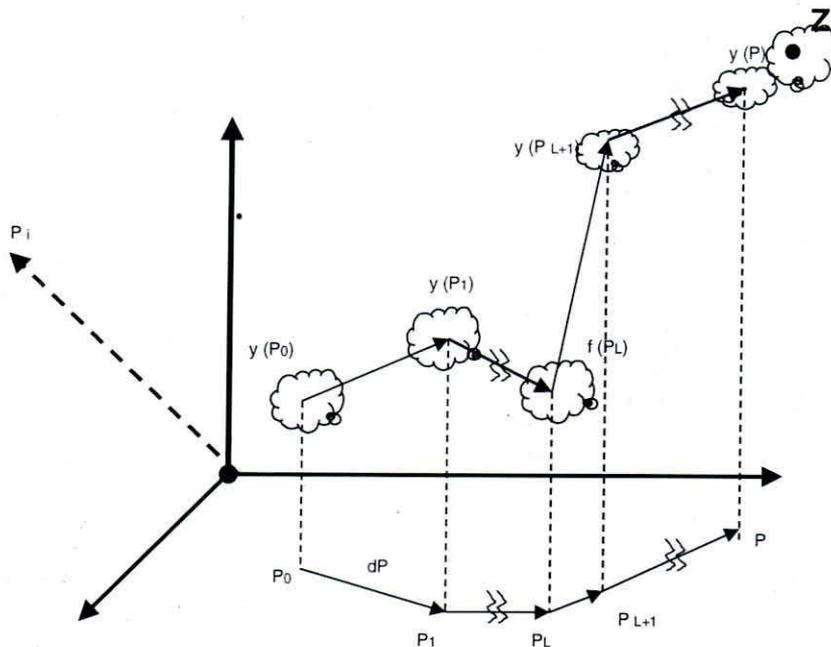


Figura 4. Identificación de parámetros y estimación de estado

III. RESULTADOS

En la tabla 2,3 y 4 se muestran los resultados de la identificación de parámetros obtenidos con la presente metodología, los mismos que se han calculado tomando como referencia el día y la hora de máxima demanda anual del año 1998, la serie de tiempo escogida es entre los días 24 y 26 de Junio y entre las 18 y 23 horas.

Los resultados cumplen con la condiciones de mínimo error de reconstrucción y de coherencia física, lo que se puede apreciar en los parámetros físicos, especialmente conductancias de fuga y resistencias difieren de sus valores nominales, normalmente usados, esto ha permitido conocer mejor el comportamiento eléctrico de cada una de las líneas.

3.1.- Resultados en la Línea Chiclayo-Piura

El resultado de la estimación de parámetros para el caso de la línea Chiclayo-Piura, se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 1. Parámetros identificados y nominales

	Valores nominales	Valores identificados
R_s	18.543 Ohms	27.18 Ohms
XL	103.4 Ohms	96.19 Ohms
YR	3.098E-5 Mhos	6.19E-5 Mhos (Noche) 4.19E-5 Mhos (Día)
YC	3.580E-4 Mhos	3.82E-4 Mhos

Observamos diferencias importantes entre los valores identificados y los valores nominales para los parámetros Y_R y R_s , estas diferencias inciden notablemente en la correcta determinación de las pérdidas activas.

En el caso de Y_R se ha encontrado que existen dos valores, uno para el día y el otro para la noche que son del orden de 1.35 y 2 veces el valor en actual uso.

Estos valores estimados de Y_R explican que la fuga de corriente hacia el exterior (cadena de aisladores y medio ambiente) que causan las pérdidas transversales es *mucho mayor* de lo que se pensaba.

Como las pérdidas por aisladores se controlan en alguna medida mediante el lavado periódico de las líneas, es evidente que la mayor parte de Y_R se debe a pérdidas por efecto corona, presentándose este efecto en forma intensiva en la noche debido al clima especial de esta zona.

En el caso de R_s se ha encontrado que la resistencia en serie estimada es mayor en un 45% del valor que se le asigna actualmente, esto se debe a que esta línea a pesar de ser relativamente nueva, esta afectada por corrosión y en muchos de sus tramos presenta una cubierta continua de contaminación. Esto no permite que la línea pueda disipar libremente el calor producido por efecto Joule, por lo que aumenta su temperatura de trabajo y esto a su vez incrementa la resistencia en serie deteriorando aún más la línea.

3.1.1. Análisis de pérdidas activas

La pérdida transversal es aproximadamente el 96% (durante las noches) y 93.5% (durante el día) del total de pérdidas activas. Siendo las pérdidas activas resultantes del orden del 17% durante el día y 31% durante la noche respecto de la potencia inyectada.

El valor de la pérdida activa se explica por el alto valor que en realidad tiene Y_R , es decir que, un valor importante de la corriente fuga del conductor en forma transversal.

Se confirma igualmente, que los valores de la pérdida de potencia activa estimada y la pérdida de potencia activa medida son casi iguales, lo cual verifica el alto nivel de explicación del modelo.

IV. CONCLUSIONES

Este método permite determinar correctamente los parámetros físicos del sistema de transmisión ya que se verifican las condiciones de mínimo error de reconstrucción y de coherencia física, además conocer los valores exactos de los parámetros físicos y las desviaciones que van produciendo lo cual permitirá calcular las pérdidas de transmisión y evaluar el mantenimiento del sistema de transmisión.

Las entidades estatales y privadas del sector eléctrico toman decisiones en base a resultados de los modelos que usan los parámetros físicos de los sistemas de transmisión (por ejemplo ampliaciones y reforzamientos de líneas). Estas decisiones serán distorsionadas si los modelos no son correctos debido a errores en los parámetros físicos.

En el caso de un Centro de Control los errores en los parámetros físicos pueden afectar seriamente la calidad de las variables de operación calculadas (Estimador de Estado) y esto a su vez puede degradar e inutilizar las aplicaciones avanzadas para la toma de decisiones en tiempo real.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Fred C. Schweppe, "Power System Static-State Estimation", IEEE Trans. On Power apparatus and Systems, vol. PAS-89, pp. 125-130. Jan. 1970.
- Dopazo, J.F., y O.A. Klitin, "State Estimation for Power Systems: Detection and Identification of Gross Measurement Errors", *ibid*, pp. 313 – 318. 1973.
- William Stecenson "Análisis de Sistemas de Potencia", 1996, cap. 15
- Allen Wood, "Power Generation, Operation & Control", 1994, chap 12.
- Gene Franklin, "Digital Control of Dynamics Systems", Addison Wesley 1981, chap 7.
- Anibal Ollero "Control por Computador", Alfa Omega Marcombo 1991, cap. 9 y 11.
- George Kusic "Computer Aided Power Systems Analysis". Prentice Hall 1986, chap. 7
- Sage, A. P., y J.L. Melsa, "Estimations to Communications & Control". Mc Graw Hill 1971.
- Liu, W.H., S.L. Lim "Parameter Error Identification and Estimation" IEEE Transactions on Power Systems, February 1995.

Tabla 2 Parámetros Físicos de operación de las Líneas del Sistema Principal.

SISTEMA PRINCIPAL					PARAMETROS ACTUALES				PARAMETROS COES			
Nº	LINEA	NOMBRE	Año	Longitud (Km.)	r Ohm/km	x Ohm/km	g umhos/km	c Nf/km	r Ohm/km	x ohm/km	g uhmo/km	c nF/km
1	L-238	CHICLAYO OESTE - PIURA OESTE	1992	211,20	0,0780	0,4924	0,5165	9,6530	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
2	L-236	GUADALUPE – CHICLAYO OESTE	1986	83,74	0,0764	0,5297	0,7410	9,9270	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
3	L-234	TRUJILLO NORTE - GUADALUPE	1986	103,35	0,0770	0,5316	0,5431	9,44860	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
4	L-232	CHIMBOTE 1 -TRUJILLO NORTE	1978	133,75	0,0597	0,4799	0,5982	9,9040	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
5	L-215	PARAMONGA – CHIMBOTE 1	1980	221,17	0,0752	0,5018	0,6989	9,8420	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
6	L-213	ZAPALLAL – PARAMONGA	1980	163,98	0,0814	0,5301	1,0010	10,8800	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
7	L-242	VENTANILLA – ZAPALLAL	1991	18,02	0,0758	0,4973	0,9643	13,8600	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
8	L-245	CHAVARRIA – VENTANILLA	1993	10,58	0,0775	0,4852	3,0310	6,5810	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
9	L-244	CHAVARRIA – VENTANILLA	1993	10,58	0,0775	0,4852	3,3590	11,0100	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
10	L-2004	SANTA ROSA – CHAVARRIA	1966	8,46	0,0619	0,4912	0,9055	10,6900	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
11	L-2003	SANTA ROSA – CHAVARRIA	1966	8,46	0,0619	0,4912	0,7910	10,3300	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
12	L-2011	SAN JUAN 1 – SANTA ROSA	1973	26,37	0,0619	0,4912	0,5471	11,3300	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
13	L-2010	SAN JUAN 1 – SANTA ROSA	1973	26,37	0,0619	0,4912	0,5471	11,3300	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000

SISTEMA SECUNDARIO					PARAMETROS ACTUALES				PARAMETROS ESTANDAR			
Nº	LINEA	NOMBRE	Año	Longitud (Km.)	r Ohm/km	x Ohm/km	g Umhos/km	c Nf/km	r Ohm/km	x ohm/km	g uhmo/km	c nF/km
1	L201	MANTARO-POMACOCHA	1973	192,22	0,0553	0,5123	0,0135	8,6640	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
2	L202	MANTARO-POMACOCHA	1973	192,22	0,0456	0,5069	0,0000	8,8500	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
3	L203	MANTARO-HUANCAVELICA	1973	247,25	0,0541	0,5323	0,0171	9,1450	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
4	L204	MANTARO-HUANCAVELICA	1973	66,47	0,0551	0,5342	0,0000	9,2960	0,0610	0,5460	0,0500	8,8000
5	L205	POMACOCHA-LIMA	1973	112,19	0,0523	0,4946	0,1040	9,3620	0,0610	0,5180	0,0500	8,8000
6	L206	POMACOCHA-LIMA	1973	112,19	0,0523	0,4950	0,1093	9,2740	0,0610	0,5180	0,0500	8,8000
7	L218	MANTARO-PACHACHACA	1983	194,82	0,0560	0,5006	0,0000	9,2820	0,0580	0,5220	0,0500	9,0000
8	L219	MANTARO-PACHACHACA	1983	194,82	0,0554	0,5003	0,0000	9,3750	0,0580	0,5220	0,0500	9,0000
9	L220	MANTARO-HUAYCACHI	1983	76,59	0,0576	0,4422	0,0966	8,1880	0,0680	0,5300	0,0500	8,8000
10	L221	HUAYCACHI-ZAPALLAL	1991	244,11	0,0500	0,5448	0,0000	9,4790	0,0580	0,5200	0,0500	8,8000
11	L231	HUANCAVELICA-INDEPENDENCIA	1973	180,78	0,0547	0,5331	0,0445	8,9600	0,0600	0,5450	0,0500	9,0000
12	L222	PACHACHACA-CALLAHUANCA	1983	72,64	0,0533	0,5052	0,0000	9,8730	0,0600	0,5450	0,0500	9,0000
13	L223	PACHACHACA-CALLAHUANCA	1983	72,64	0,0524	0,5046	0,0503	9,5100	0,0600	0,5450	0,0500	9,0000
14	L207	INDEPENDENCIA-LIMA	1973	214,75	0,0691	0,4816	0,5766	10,2900	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000
15	L208	INDEPENDENCIA-LIMA	1973	216,31	0,0692	0,4816	0,4163	9,6950	0,0580	0,5450	0,0500	8,6000

Tabla 3 Parámetros Iniciales para la Estimación de Parámetros.

SISTEMA PRINCIPAL					PARAMETROS ACTUALES					PARAMETROS ACTUALES			
Nº	LINEA	NOMBRE	Año	Longitud (Km.)	r Ohm/km	x Ohm/km	x mhenr/km	g umhos/km	c Nf/km	r Ohm/km	x ohm/km	g uhmo/km	c nF/km
1	L-238	CHICLAYO OESTE - PIURA OESTE	1992	211,20	0,0780	0,4924	1,31	0,5165	9,6530	0,0580	0,0300	0,4797	9,6220
2	L-236	GUADALUPE – CHICLAYO OESTE	1986	83,74	0,0764	0,5297	1,41	0,7410	9,9270	0,0580	0,0300	0,7640	9,9795
3	L-234	TRUJILLO NORTE - GUADALUPE	1986	103,35	0,0770	0,5316	1,41	0,5431	9,4860	0,0580	0,2106	0,4382	9,4359
4	L-232	CHIMBOTE 1 -TRUJILLO NORTE	1978	133,75	0,0597	0,4799	1,27	0,5982	9,9040	0,0580	0,0903	0,5644	9,7659
5	L-215	PARAMONGA – CHIMBOTE 1	1980	221,17	0,0752	0,5018	1,33	0,6989	9,8420	0,0580	0,0800	0,6640	9,9620
6	L-213	ZAPALLAL – PARAMONGA	1980	163,98	0,0814	0,5301	1,41	1,0010	10,8800	0,0580	0,0592	0,9600	10,3847
7	L-242	VENTANILLA – ZAPALLAL	1991	18,02	0,0758	0,4973	1,32	0,9643	13,8600	0,0580	0,0300	0,7306	10,3170
8	L-245	CHAVARRIA – VENTANILLA	1993	10,58	0,0775	0,4852	1,29	3,0310	6,5810	0,0580	0,1746	1,0166	7,5538
9	L-244	CHAVARRIA – VENTANILLA	1993	10,58	0,0775	0,4852	1,29	3,3590	11,0100	0,0580	0,3245	0,8658	7,0000
10	L-2004	SANTA ROSA – CHAVARRIA	1966	8,46	0,0619	0,4912	1,30	0,9055	10,6900	0,0580	0,0773	1,0340	11,0000
11	L-2003	SANTA ROSA – CHAVARRIA	1966	8,46	0,0619	0,4912	1,30	0,7910	10,3300	0,0580	0,0300	1,1200	11,0000
12	L-2011	SAN JUAN 1 – SANTA ROSA	1973	26,37	0,0619	0,4912	1,30	0,5471	11,3300	0,0580	0,0300	0,1625	7,9349
13	L-2010	SAN JUAN 1 – SANTA ROSA	1973	26,37	0,0619	0,4912	1,30	0,5471	11,3300	0,0580	0,0300	0,1273	7,0056

SISTEMA PRINCIPAL					PARAMETROS ACTUALES					PARAMETROS ACTUALES			
Nº	LINEA	NOMBRE	Año	Longitud (Km.)	r Ohm/km	x Ohm/km	x mhenr/km	g umhos/km	c Nf/km	r Ohm/km	x ohm/km	g uhmo/km	c nF/km
1	L201	MANTARO-POMACOCHA	1973	192,22	0,0553	0,5123	1,3590	0,0135	8,6640	0,0568	0,5056	0,0000	8,6117
2	L202	MANTARO-POMACOCHA	1973	192,22	0,0456	0,5089	1,3500	0,0000	8,8500	0,0619	0,4996	0,0000	8,5819
3	L203	MANTARO-HUANCAVELICA	1973	247,25	0,0541	0,5323	1,4120	0,0171	9,1450	0,0590	0,4922	0,0000	8,8440
4	L204	MANTARO-HUANCAVELICA	1973	66,47	0,0551	0,5342	1,4170	0,0000	9,2960	0,0362	0,4947	0,0000	8,8792
5	L205	POMACOCHA-LIMA	1973	112,19	0,0523	0,4946	1,3120	0,1040	9,3620	0,0437	0,5000	0,1318	9,5161
6	L206	POMACOCHA-LIMA	1973	112,19	0,0523	0,4950	1,3130	0,1093	9,2740	0,0763	0,5126	0,0000	9,2994
7	L218	MANTARO-PACHACHACA	1983	194,82	0,0560	0,5006	1,3280	0,0000	9,2820	0,0529	0,4917	0,0000	9,1752
8	L219	MANTARO-PACHACHACA	1983	194,82	0,0554	0,5003	1,3270	0,0000	9,3750	0,0457	0,4994	0,0000	9,3745
9	L220	MANTARO-HUAYCACHI	1983	76,59	0,0576	0,4422	1,1730	0,0966	8,1880	0,0372	0,5000	0,0000	7,4906
10	L221	HUAYCACHI-ZAPALLAL	1991	244,11	0,0500	0,5448	1,4450	0,0000	9,4790	0,0378	0,4896	0,0305	8,9154
11	L231	HUANCAVELICA-INDEPENDENCIA	1973	180,78	0,0547	0,5331	1,4140	0,0445	8,9600	0,0588	0,5133	0,0400	9,5532
12	L222	PACHACHACA-CALLAHUANCA	1983	72,64	0,0533	0,5052	1,3400	0,0000	9,8730	0,0437	0,4955	0,0000	9,8221
13	L223	PACHACHACA-CALLAHUANCA	1983	72,64	0,0524	0,5048	1,3390	0,0503	9,5100	0,0588	0,5133	0,0400	9,5532
14	L207	INDEPENDENCIA-LIMA	1973	214,75	0,0691	0,4818	1,2780	0,5766	10,2900	0,1600	0,4500	0,3401	9,7484
15	L208	INDEPENDENCIA-LIMA	1973	216,31	0,0692	0,4818	1,2780	0,4163	9,6950	0,0950	0,5048	0,2951	9,4923

Tabla 4 Resistencia en el Sistema de Transmisión

SISTEMA						RESISTENCIA		
Nº	LINEA	NOMBRE	Año	Longitud (Km)	Conductor	r fabricantes Ohm/km	r actual Ohm/km	r estandar Ohm/km
1	L-238	CHICLAYO OESTE - PIURA OESTE	1992	211,20	ACAR400	0.073-0.077	0,0780	0,0580
2	L-236	GUADALUPE – CHICLAYO OESTE	1986	83,74	ACAR400	0.073-0.077	0,0764	0,0580
3	L-234	TRUJILLO NORTE - GUADALUPE	1986	103,35	ACAR498	0.073-0.077	0,0770	0,0580
4	L-232	CHIMBOTE 1 -TRUJILLO NORTE	1978	133,75	ACAR400	0.061-0.064	0,0597	0,0580
5	L-215	PARAMONGA – CHIMBOTE 1	1980	221,17	ACAR400	0.073-0.077	0,0752	0,0580
6	L-213	ZAPALLAL – PARAMONGA	1980	163,98	ACAR400	0.073-0.077	0,0814	0,0580
7	L-242	VENTANILLA – ZAPALLAL	1991	18,02	ACAR400	0.073-0.077	0,0758	0,0580
8	L-245	CHAVARRIA – VENTANILLA	1993	10,58	ACAR400	0.073-0.077	0,0775	0,0580
9	L-244	CHAVARRIA – VENTANILLA	1993	10,58	ACAR400	0.073-0.077	0,0775	0,0580
10	L-2004	SANTA ROSA – CHAVARRIA	1980	8,46	AAAC490	0.058-0.064	0,0619	0,0580
11	L-2003	SANTA ROSA – CHAVARRIA	1980	8,46	AAAC490	0.058-0.064	0,0619	0,0580
12	L-2011	SAN JUAN 1 – SANTA ROSA	1973	26,37	AAAC490	0.058-0.064	0,0619	0,0580
13	L-2010	SAN JUAN 1 – SANTA ROSA	1973	26,37	AAAC490	0.058-0.064	0,0620	0,0580

SISTEMA						RESISTENCIA		
Nº	LINEA	NOMBRE	Año	Longitud	Conductor	r fabricantes Ohm/km	r actual Ohm/km	r estándar Ohm/km
1	L201	MANTARO-POMACOCHA	1973	192,22	Curlew/Pheasant	0,0532	0,0553	0,0580
2	L202	MANTARO-POMACOCHA	1973	192,22	Curlew/Pheasant	0,0532	0,0456	0,0580
3	L203	MANTARO-HUANCAVELICA	1973	247,25	Curlew	0,0529	0,0541	0,0580
4	L204	MANTARO-HUANCAVELICA	1973	66,47	Curlew	0,0553	0,0551	0,0610
5	L205	POMACOCHA-LIMA	1973	112,19	Curlew/Pheasant	0,0537	0,0523	0,0610
6	L206	POMACOCHA-LIMA	1973	112,19	Curlew/Pheasant	0,0537	0,0523	0,0610
7	L218	MANTARO-PACHACHACA	1983	194,82	Curlew	0,0553	0,0560	0,0580
8	L219	MANTARO-PACHACHACA	1983	194,82	Curlew	0,0553	0,0554	0,0580
9	L220	MANTARO-HUAYCACHI	1983	76,59	Curlew	0,0553	0,0578	0,0680
10	L221	HUAYCACHI-ZAPALLAL	1991	244,11	Curlew/Pheasant	0,0549	0,0500	0,0580
11	L231	HUANCAVELICA-INDEPENDENCIA	1973	180,78	Curlew/Pheasant	0,0520	0,0547	0,0600
12	L222	PACHACHACA-CALLAHUANCA	1983	72,64	Curlew/Pheasant	0,0532	0,0533	0,0600
13	L223	PACHACHACA-CALLAHUANCA	1983	72,64	Curlew/Pheasant	0,0532	0,0524	0,0600
14	L207	INDEPENDENCIA-LIMA	1973	214,75	ACAR442.7	0,07-0,075	0,0691	0,0580
15	L208	INDEPENDENCIA-LIMA	1973	216,31	ACAR442.7	0,07-0,075	0,0692	0,0580

EDITADO EN LOS TALLERES GRAFICOS DE:

IMPRESOS & SISTEMAS S.A.

Tiraje: 200

Av. Ignacio Merino 2585

Lima 27, Perú Tel/fax: 222-4489