

Optimización de la calidad de energía eléctrica suministrada, a través de la subestación Mulaló del Sistema Nacional Interconectado

P. Moreno[†], H. Ortiz^{††}, Alfredo Salazar B.^{†††}

[†]*Corporación Eléctrica del Ecuador E.P Unidad de Negocios Transelectric – CELEC EP
TRANSELECTRIC, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; Email: pablo.moreno@celec.gob.ec*

^{††}*Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; Email: hroztiz@espe.edu.ec*

^{†††}*Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; Email: agsalazar@espe.edu.ec*

Resumen—Utilizando la metodología de marco lógico (ML) de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), se determina la opción más viable para mejorar la entrega de energía eléctrica a la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. (ELEPCO S.A.), a través de la subestación (S/E) Mulaló del Sistema Nacional Interconectado (SIN).

Empleando la ML se analiza el problema, identificando los involucrados directos e indirectos relacionados al proyecto se determina sus intereses y la posición del programa, lo cual permite dar mayor objetividad al mismo, siendo CELEC EP el de mayor involucramiento. Se identifica el problema central plenamente para proponer alternativas de solución y determina que la S/E Mulaló no entrega la suficiente energía eléctrica a ELEPCO S.A., identificando sus efectos de la gravedad y sus consecuencias, también se determinan las causas del porque se originó el problema, para posteriormente presentar el árbol de problemas y luego cambiar las condiciones negativas a condiciones positivas viables, determinando el árbol de objetivos.

Utilizando el árbol de objetivos se identifica las acciones a tomar para la solución del problema, el cual se investiga mediante un análisis técnico – económico - ambiental, determinando la mejor alternativa de solución, estableciendo la estrategia óptima del proyecto, y construir la matriz de marco lógico (MML).

Con la MML se verifica si la solución planteada satisface las necesidades de los involucrados y soluciona el problema planteado.

ABSTRACT— Using the logical framework methodology (ML) of the Economic Commission for Latin America (ECLAC), the most viable option is determined to improve the delivery of electricity to the Provincial Electricity Company Cotopaxi SA (ELEPCO SA) through the substation (S / E) Mulaló the National Interconnected System (SIN).

Using the ML the problem is analyzed, identifying the direct and indirect stakeholders related to the project its interests and position of the program is determined, which allows greater objectivity to it, being the largest CELEC EP involvement. The central problem is identified fully to propose solutions and determines that the S / E Mulaló not deliver enough electricity to ELEPCO SA, identifying the effects of gravity and its consequences, the causes are also determined that the problem originated , then present the problem tree and then change the negative conditions viable positive conditions, determining the objectives tree.

Using the objective tree identifies the actions to take to resolve the problem, which is investigated through technical analysis - economic - environmental, determining the best alternative solution, establishing the optimal strategy of the project and build the logical framework matrix (LFM).

With LFM verifies that the proposed solution meets the needs of those involved and solve the problem posed.

Palabras clave— involucrados, marco lógico, calidad de energía, demanda, flujo de potencia, línea de transmisión.

1. INTRODUCCIÓN.

Actualmente Corporación Eléctrica del Ecuador Empresa Publica con su Unidad de Negocios TRANSELECTRIC (CELEC EP-TRANSELECTRIC) no dispone de capacidad de abastecimiento de energía a la S/E Mulaló, razón por la cual en horas pico se limita la entrega provocando los siguientes problemas.

- Disminución en la entrega de energía eléctrica a los consumidores en horas pico.
- Alimentación inadecuada a la subestación por parte del SNT.
- Sobrecarga en la línea de transmisión Pucará – Mulaló en un 8.5%.
- Pérdida de las propiedades mecánicas del conductor por sobrecarga de este.

Adicionalmente el Plan Nacional del Buen Vivir, 2013-2017 menciona, que el crecimiento anual para el periodo 2013-2030, proyecta un incremento promedio anual de la demanda de energía eléctrica en un 2,1% (SENPLADES, 2013).

Utilizando la investigación científica, de campo, con una revisión bibliográfica-documental y la ayuda de la metodología de marco lógico, y el formato de SENPLADES de inclusión de programas y proyectos en los planes de inversión pública se espera definir la mejor alternativa para optimizar la entrega de energía eléctrica a ELEPCO S.A., a por medio de la S/E Mulaló.

El presente artículo identifica los conceptos claves de la investigación, el diagnóstico y la solución a tomarse con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

2. METODOLOGÍA.

Con la ayuda de la investigación de campo se determinan las características de lo existente. Mediante una revisión bibliográfica - documental se determina las condiciones actuales y aplicando la metodología de marco lógico se determinan las acciones a seguir, teniendo en cuenta los siguientes tratamientos.

2.1 Levantamiento de información.

Mediante un levantamiento de información bibliográfico-documental y de campo se identifica la información necesaria para encontrar la solución al problema planteado de los cuales se tiene:

2.1.1 Recolección de potencias en las bahías.

En base a la observación y a un archivo bibliográfico - documental sobre el cual los operadores de la S/E Mulaló registran las potencias máximas de todas las bahías de la subestación, de las cuales se desprenden los datos presentados en la tabla N° 1.

Tabla N° 1: Valores de potencia.

Descripción	Valor (MW)
Bahía Pucará	121,51
Bahía Vicentina	57,86
Bahía NOVACERO	37,00
Bahía Transferencia	0,00
Bahía Transformador (138 kV)	42,00
Bahía Transformador (69 kV; ELEPCO S.A.)	42,00

Fuente: Operación CELEC – EP, marzo 2013.

2.1.2 Identificación de límites operativos:

En la tabla N° 2 se indica los porcentajes de los límites operativos de voltaje en el servicio eléctrico de distribución conforme lo establece la **REGULACION No. CONELEC – 004/01**.

Tabla N° 2: Límites operativos de voltaje.

Descripción	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	± 7,0 %	± 5,0 %
Medio Voltaje	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Urbanas	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Rurales	± 13,0 %	± 10,0 %

Fuente: CONELEC.

En la tabla N° 3 se muestra los límites operativos de la línea de transmisión (L/T) Pucará – Mulaló a 138 kV y de su transformador en la S/E de estudio.

Tabla N° 3: Límites operativos de potencia

Descripción	Capacidad continua (MVA)	Capacidad emergencia (MVA)
Línea de transmisión	112	160
Transformador	60	67,7

Fuente: CELEC EP – TRANSELECTRIC

2.1.3 Levantamiento de información campo.

Con la ayuda de una estación topográfica, se realiza el levantamiento planimétrico de la línea de transmisión, con todos los obstáculos y vías existentes en el trayecto de la L/T, como se presenta en el gráfico N° 2.

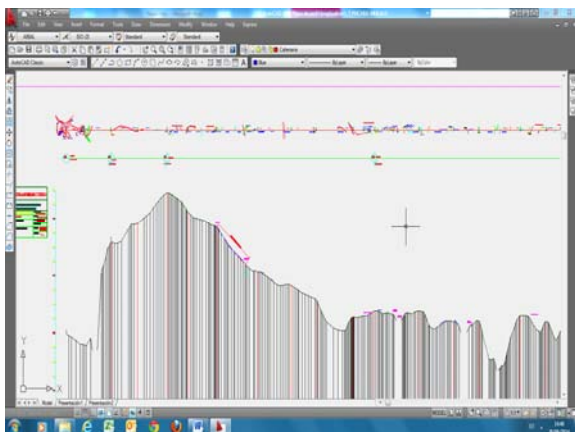


Gráfico N° 1: Topografía.

Fuente: CELEC EP-TRANSELECTRIC

Por medio de una inspección de campo se identifica los tipos de estructuras y subensamblajes existentes en la línea de transmisión. Una vez identificados los componentes de la L/T, a través de una investigación bibliográfica documental, se indaga la existencia de información técnica, en especial los árboles de cargas de las estructuras existentes.

- Torre tipo N: 49
- Torre tipo R:51
- Torre tipo T: 6
- Torre tipo A:3
- Torre tipo C:9

De las cuales 25 estructuras son de retención y 93 estructuras son de suspensión.

2.2 Metodología de Marco Lógico.

2.2.1 Involucrados

Ayudados con la técnica Delphi, se identifica los diferentes involucrados en el proyecto, determinando su postura; encontrando las expectativas, su grado de influencia y en base a esto establecer las acciones a tomar, para una

correcta planificación, los cuales se muestran en la tabla N° 4.

Tabla N°. 4: Caracterización de involucrados.

Grupo	Intereses	Problemas percibidos	Recursos / Mandatos
CELEC E.P.	- Cumplir con la ley, y reglamentos y resoluciones. -Garantizar disponibilidad, confiabilidad del servicio de generación y trasmisión de energía eléctrica.	- Incumplimiento de regulaciones - Disponibilidad financiera. - Injerencia política.	- Disponibilidad presupuestaria. - Personal necesario. - Regulación No. CENACE 03/08.
Población del sector	- Buena calidad de energía eléctrica.	- Daños a electrodomésticos. - Incremento de robos. - Congestión vehicular.	N/A
ELEPCO S.A.	- Mayor disponibilidad de energía eléctrica de buena calidad.	- Reclamos por los abonados al no cumplir con la entrega de energía necesaria. - Injerencia política.	- Cumplir con la Regulación No. CONELEC 03/08.
NOVACERO	- Incremento de la productividad. - Demanda satisfecha de potencia eléctrica para cumplir con su productividad. - No suministro de energía eléctrica en horas de mayor consumo.	- Baja productividad. - Daño de equipamientos.	- Solicitar el cumplimiento de las leyes y regulaciones.
Otras industrias	- Incremento de la productividad. - Demanda satisfecha de potencia eléctrica para cumplir con su productividad.	- Baja productividad. - Daño de equipamientos.	- Solicitar el cumplimiento de las leyes y regulaciones.
CENACE	- Hacer cumplir con las leyes y reglamentos. - Mantener la calidad y confiabilidad del suministro de energía.	- No cumple con su misión.	- Solicitar el cumplimiento de las leyes y regulaciones. - Regulación No. CONELEC 008-2008.
Ministerio de Electricidad	- Cumplir con el Plan del Buen Vivir. - Cumplir con la matriz de producción. - Cumplir con la matriz energética.	- Reclamos por los abonados al no cumplir con la entrega de energía necesaria. - Presión política.	- Disponibilidad financiera. - Plan del Buen Vivir.
Pobladores afectados por nueva infraestructura eléctrica	- No afectación de sus propiedades.	- Baja la plusvalía. - Afectación de la salud por cercanía de infraestructura eléctrica.	-Protestas. - Impedimento en la construcción.
Empresas comercializadoras de grupos electrógenos	- Incrementar la venta de grupos electrógenos.	- Baja demanda de grupos electrógenos.	N/A

2.2.2 Árbol de problemas

En base al problema planteado se determina el árbol de problema el cual se identifica en el gráfico N° 2.

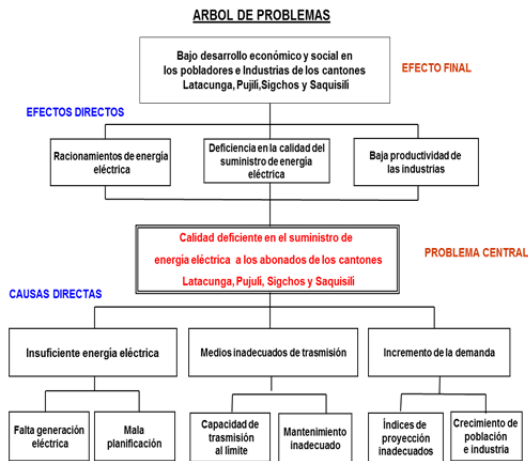


Grafico N° 2: Árbol de problemas.

2.2.3 Árbol de objetivos

Tomado como referencia el grafico N° 2, las condiciones negativas se transforman en condiciones positivas viables, para conformar el árbol de objetivos, el cual se identifica en el gráfico N° 3.



Grafico N° 3. Árbol de objetivos.

Analizando el árbol de objetivos se puede identificar tres alternativas de solución como son:

- Construcción de una central,
- Construcción de una línea de transmisión, y;

- Cambio de conductor.

2.2.4 Selección de alternativas.

Para la selección de alternativa óptima, se realiza un análisis técnico de flujos de potencia, un análisis económico y un análisis ambiental, siendo la alternativa de cambio de conductor el más viable.

Para realizar el análisis técnico se utiliza el programa informático POWER-WOOR, realizando un análisis de flujos de potencia, a máxima carga tomando como base el consumo indicado en la tabla N° 1, con un incremento del 2,1% por año, indicada en el Plan del Buen Vivir 2013-2014 (SENPLADES, 2013), con la configuración actual. En el grafico N°. 4 se presenta un esquema del programa, el resultado de este análisis se indican en la tabla N°. 5. Esto para identificar la demanda futura y el conductor a utilizar.

Tabla N° 5: Análisis de potencia al 2024.

Potencia consumida (MW)	Cargabilidad L/T Pucará Mulaló (MW)	Potencia transmitida por la L/T Pucará Mulaló (MW)	Potencia de salida de barra al sistema (MW)	Potencia generada (MW)
106	148	148	58,60	6,50

Fuente: Operación CELEC – EP

Para el análisis económico se determina los costos de operación, mantenimiento y de inversión. Se determina el TIR y el VAN, teniendo como resultado que el cambio de conductor es la alternativa que su porcentaje de recuperación de la inversión es mayor al porcentaje esperado de recuperación, por lo tanto el proyecto es viable, sus ingresos son capaces de cubrir los gastos generados, y además genera una rentabilidad.

2.2.5 Estructura analítica del proyecto.

Tomando en consideración la alternativa más viable, la estructura analítica del proyecto (árbol de objetivos), se presenta en el grafico N° 5, siendo esta el cambio de conductor la más viable.

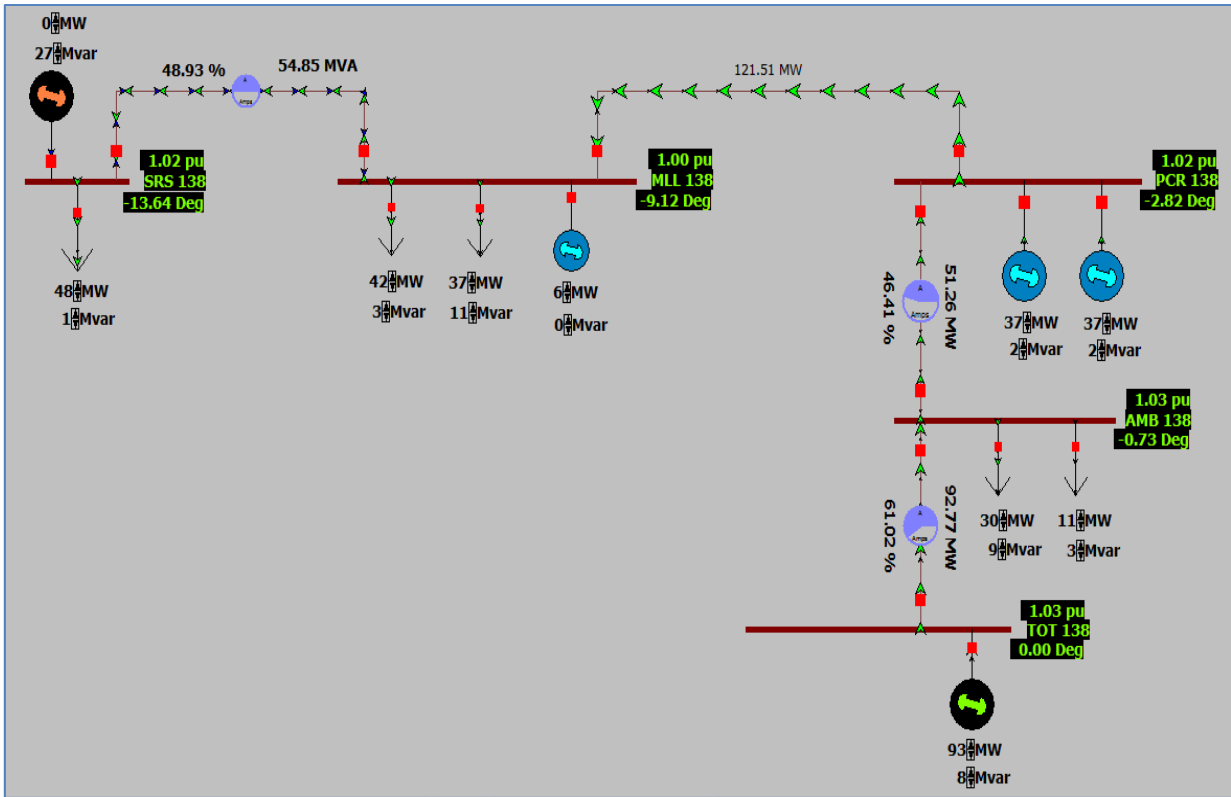


Grafico N° 4: Flujo de la subestación Mulaló

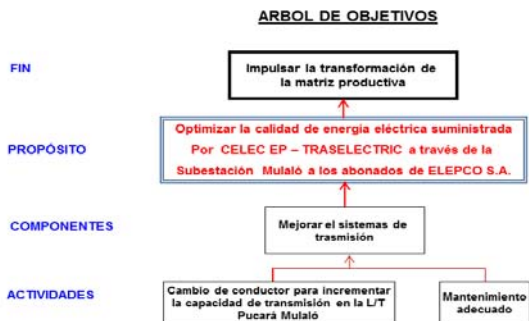


Grafico N° 5: Estructura analítica del proyecto

2.3 Matriz de marco lógico

Utilizando la matriz de marco lógico se resume la información del proyecto el cual permite identificar los problemas, establece indicadores y medios de verificación, los mismos se muestra en la tabla N° 6.

3. DISEÑO (SOLUCIÓN)

Ayudados con el levantamiento topográfico longitudinal se determina las distancias de los vanos, se calculan las cargas que soportarán las

estructuras con el nuevo conductor a una tensión de todos los días (EDS) del 22% de la carga de rotura. Es imperativo identificar que en la mínima temperatura, el conductor no exceda el 33 % de tensión de rotura del mismo para evitar complicaciones con la elasticidad del conductor. Calculadas las cargas máximas se verifica con los árboles de carga de las estructuras existentes; si éstas las soportan se continúa con los cálculos, caso contrario se deben realizar cálculos individuales para determinar que estructuras soportan las cargas y cuáles no. En el caso de las estructuras que no soporten las nuevas condiciones de carga, se las deberá reforzar elaborando un estudio estructural. Todos estos cálculos se obtienen con la ayuda del programa informático PLS-CADD, las norma del EX - INECEL, y considerando que la torre tipo R se puede trabajar como suspensión o retención, se procede a verificar las distancias de seguridad.

Este programa permite obtener cargas, flechas e identificar las distancias al suelo, como se muestra en el grafico N° 6.

Tabla N°. 6: Matriz de marco lógico.

Resumen Narrativo	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
F.: Impulsar la transformación de la matriz productiva. (Objetivo 10; (SENPLADES, 2013))	F.1. Reducir las importaciones no petroleras de bienes primarios y basados en recursos naturales en un 40.5% para el 2017. F.2. Aumentar la participación industrial manufacturera del PIB en un 2.5 % para el 2017.	Baco central del Ecuador	Las importaciones no petroleras de bienes primarios y basados en recursos naturales de se reducen en un 10 % al 2017. Se mantendrá la participación del PIB en el 12,8%.
P.: Optimizar la calidad de energía eléctrica suministrada por CELEC EP – TRANSELECTRIC a través de la subestación Mulaló a los abonados de ELEPCO S.A. C: Adecuado sistema de transmisión.	P.1 Incremento en el consumo de energía eléctrica de 79 MW en el 2013 a 83 MW al 2015, por parte de ELEPCO S.A. y sus industrias. C.1 Incremento de la capacidad de transmisión en la energía eléctrica por la L/T Pucará Mulaló de 112 MV en el 2013 a 183 MV en el 2015. C.2 Entrega del 100 % de energía eléctrica a los pobladores del sector y sus industrias en el 2015. C.3 Mantener el número de salidas de la L/T por fallas por mal mantenimiento en el año 2015 igual que en el año 2013 de cero fallas	Reporte Operativo (CELEC EP) Reporte Operativo (CELEC EP)	Los abonados de los cantones Latacunga, Pujilí, Saquisilí y Sigchos sus industrias permiten cambiar el conductor de la L/T Pucará Mulaló por las restricciones ocasionadas. Suficiente energía eléctrica en la subestación Mulaló que no produzca cortes de energía a los pobladores de los cantones Latacunga, Pujilí, Saquisilí, Sigchos y sus industrias.
A1: Cambio de conductores para el incremento de capacidad de transmisión.	2'066,083.00	Registros contables, Informes de mantenimiento y proyecto CELEC EP - TRANSELECT RIC.	Adecuada asignación de presupuesto para la ejecución del cambio de conductor de la L/T Pucará – Mulaló. Propietarios de los predios por donde pasa la L/T Pucará Mulaló permiten el ingreso para la ejecución de un correcto mantenimiento.
A.2: Mantenimiento adecuado de la línea de transmisión Pucará – Mulaló.	50.662,05		

Realizados estos cálculos y diseños, se determina los estudios de flechas para el momento del cambio de conductor (tendido).

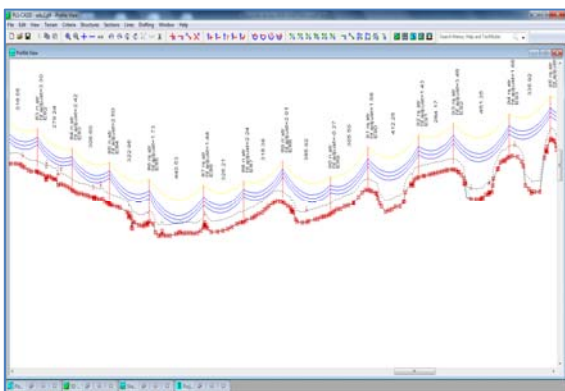


Grafico N° 6: Diseño electromecánico

4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS.

Mediante el marco lógico permite conceptualizar diseñar, ejecutar y evaluar un proyecto.

Con la identificación de involucrados del proyecto se visualiza los intereses y expectativas de cada grupo de importancia del proyecto.

Definir un buen árbol de problema es determinante para un buen resultado de un proyecto.

Utilizando la matriz de marco lógico permite dar seguimiento del proyecto con mejores resultados de control.

Para la optimización de la calidad en la S/E Mulaló se tiene que con el cambio de conductor de la L/T Pucará - Mulaló se incrementa la potencia de la S/E Mulaló en 101 MW, mejora el voltaje a 137.5 V, esto en relación a los 79 MW y un voltaje de 133.14 V actuales.

Para el cambio de conductor se debe reemplazar las estructuras E005, E022, y en el vano E035 - E036 - E037 se debe colocar estructuras intermedio siendo esto E036A y E036B, esto para mantener las distancias de seguridad a tierra.

Adicionalmente el cambio del conductor se calcula al 22% de su tensión de rotura a 20 ° C. Teniendo en cuenta consideración que en mínima temperatura no sobrepase el 33% de su tensión de rotura.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El cambio de conductor planteado permite incrementar la potencia de entrega en la subestación Mulaló, mejorar el voltaje en la barra de 138 kV y brindar un servicio de mayor calidad a los abonados de los cantones Latacunga, Pujilí, Saquisilí y Sigchos.

Con el cambio de conductor se tiene los siguientes beneficios para los abandonados que se alimenta desde la subestación Mulaló:

- Dentro de un proyecto de construcciones del sector eléctrico la mayor dificultad se tiene con los involucrados del mismo, a través de una correcta identificación de estos, se disminuiría el tiempo de construcción.
- La metodología de marco lógico permite obtener información valiosa para consolidar el formato de la SEMPLADES de inclusión de programas y proyectos en los planes de inversión pública.

- Para obtener una buena solución se debe realizar cuidadosamente el árbol de problemas, para lo cual es imperante identificarlo con la ayuda de expertos en el área del proyecto ejecutado.
- Luego del cambio de conductor los cotos de operación y mantenimiento de la L/T Pucará – Mulaló no se incrementan.
- Cambiar de conductor de la L/T Pucará Mulaló permitiendo incrementar la potencia de transmisión de 112 MW a 148 MW.
- Mejora el voltaje de barras de 133,14 a 137,5 kV.
- Entrega de energía eléctrica en un 100 % a los pobladores e industrias de los cantones Latacunga, Pujilí, Saquisilí y Sigchos.
- No se realiza daños ambientales al utilizar la misma franja de servidumbre y torres existentes.

Se recomienda utilizar la matriz de involucrados para facilitar la construcción de un proyecto eléctrico.

Es recomendable realizar el árbol de problemas conjuntamente con el de objetivos con personas experimentadas en sistemas de transmisión de energía eléctrica.

Se recomienda utilizar el conductor ACAR 750 MCM para el cambio de conductor en la L/T Pucará – Mulaló e incrementar la transmisión de energía eléctrica en un 32% aproximadamente.

Los gobiernos, universidades e instituciones públicas relacionadas deben impulsar la investigación en el campo de transmisión de energía eléctrica, especialmente para determinar nuevas formas de transmisión que disminuyan el costo, eleven la confiabilidad del sistema y reduzcan el impacto ambiental.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chasipanta González, J. A. (2011). Recuperado el 20 de agosto de 2013, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4902/1/Estudio%20para%20Repotenciaci%C3%B3n%20de%20la%20L%C3%ADne.pdf>
- INECEL. (1977). *NORMAS DEDISEÑO LT DE138 kV*. QUITO.
- SENPLADES. (2013). PLAN NACIONAL PARA EL BUEN VIVIR 2013 2017. QUITO, PICHINCHA, ECUADOR.
- CENACE. (2012). *CENACE*. Recuperado el 25 de febrero de 2014, de http://www.cenace.org.ec/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=6:phocatinfanuales&Itemid=1
- CONELEC. (2008). REGULACIÓN No. CONELEC - 003/08. *Calidad del transporte de electricidad y del servicio de transmisión y conexión en el sistema nacional interconectado*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- CONELEC. (2012). www.conelec.gob.ec. Recuperado el 18 de Febrero de 2013, de Plan Maestro de electrificación 2012-2021: <http://www.conelec.gob.ec/documentos.php?cd=4214&l=1>
- INECEL. (1977). *NORMAS DEDISEÑO LT DE138 kV*. QUITO.
-



Pablo René Moreno Gavilánez
– Nacido en Latacunga, Ecuador en 1977. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana en el 2008. Egresado de la Maestría en Gestión de

Proyectos de la Escuela Politécnica del Ejercito 2012.

Actualmente se desempeña como Ingeniero de Mantenimiento de Líneas de Transmisión de la División de Mantenimiento. Sus áreas de interés se relacionan con la transmisión de energía eléctrica.