



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**DESPACHO ÓPTIMO DE POTENCIA REACTIVA MEDIANTE
PROGRAMACIÓN NO LINEAL CON RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD
EN LAS LÍNEAS PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS.**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico

Autores:

Naranjo Verdesoto Edgar Patricio

Calvopiña Herrera Alvaro Israel

Tutor Académico:

Ing. Jessica Castillo. MSc.

LATACUNGA – ECUADOR

Latacunga, 30 de Julio del 2025


DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Naranjo Verdesoto Edgar Patricio** y **Calvopiña Herrera Alvaro Israel** declaramos ser autores del proyecto de titulación "**Despacho óptimo de potencia reactiva mediante programación no lineal con restricciones de cargabilidad en las líneas para minimizar pérdidas**", siendo el **Ing. Jessica Nataly Castillo Fiallos MSc** tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Naranjo Verdesoto Edgar Patricio
C.C. 1725179459



Calvopiña Herrera Alvaro Israel
C.C. 0503939050

Latacunga, 30 de Julio del 2025

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “**Despacho óptimo de potencia reactiva mediante programación no lineal con restricciones de cargabilidad en las líneas para minimizar pérdidas**”, propuesto por los **Naranjo Verdesoto Edgar Patricio y Calvopiña Herrera Alvaro Israel**, de la carrera de **Ingeniería en Electricidad**, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. Jessica Nataly Castillo Fiallos MSc

C.C. 060459021-6

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la ingeniería y Aplicadas.; por cuanto, los postulantes Naranjo Verdesoto Edgar Patricio, Calvopiña Herrera Alvaro Israel, con el título de Proyecto de titulación: “DESPACHO ÓPTIMO DE POTENCIA REACTIVA MEDIANTE PROGRAMACIÓN NO LINEAL CON RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD EN LAS LÍNEAS PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 29 de julio del 2025

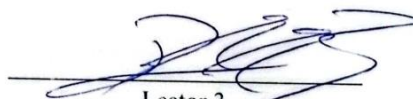
Para constancia firman:



Lector 1 (Presidente)
Ing. Quinatoa Carlos M.Sc.
C.C. 0503287864



Lector 2
Ing. Xavier Proaño MSc
CC: 0502656424



Lector 3
MBA. Estupiñan Diego
CC:050165650-8

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo a la vida por permitir alcanzar una meta más, estoy enormemente agradecido con mis padres, quienes apoyan arduamente con mi formación académica, siendo los mismos la motivación para culminar con cada objetivo planteado, a mis hermanas que forman parte de cada superación y cada aprendizaje a lo largo de la carrera y a los docentes de la facultad ya que han sido guía irremplazable en el recorrido preparatorio a profesional.

Edgar Patricio Naranjo Verdesoto

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis padres Enrique y Mélida por haberme apoyado en toda mi formación académica, ya que gracias a su esfuerzo y sacrificio me encuentro finalizando esta etapa de mi vida, a mi hermana Jessica por siempre haber estado para mí y darme las palabras de aliento que necesitaba en los momentos oportunos, a mis mejores amigos Juan, Andrés, Jhon y Ayliz por siempre haberme sacado una sonrisa y compartir conmigo los buenos y malos momentos durante estos años.

Extiendo mi gratitud a Meba por haberme ensañado cosas que jamás aprendí en las aulas y por brindarme la fortaleza que no sabía que tenía para concluir mis estudios; finalmente agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme abierto las puertas, a todos mis docentes quienes compartieron su conocimiento conmigo y un agradecimiento especial al ingeniero Xavier Proaño por haberme apoyado incondicionalmente y ser una guía y ejemplo para mí.

Alvaro Israel Calvopiña Herrera

DEDICATORIA

Quiero dedicar a mi familia que son los primeros en alegrarse con los triunfos diarios, todo el esfuerzo empleado en la culminación de la carrera se origina por los conocimientos y valores que mi familia ha sembrado en mi y el resultado de cada éxito tiene por detrás su vital apoyo.

Edgar Patricio Naranjo Verdesoto

DEDICATORIA

Dedico este logro a mis padres cuyo amor y apoyo siempre estuvo para mí a pesar de mis tropiezos, por nunca rendirse conmigo y haber tenido la paciencia necesaria para soportar todo este viaje que ha sido la universidad.

A mi hermana y su esposo por ser confidentes conmigo, darme ese apoyo moral en los momentos de mayor necesidad y creer en mí siempre.

Finalmente, a mi sobrina Antonella quien desde su llegada se ha convertido en la antorcha que ilumina mi camino en la más profunda oscuridad y me inspira a ser un gran profesional y sobre todo un gran hombre.

Esto es por todos ustedes.

Alvaro Israel Calvopiña Herrera

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1 Situación problemática.....	3
2.2 Formulación del problema	5
2.3 Objeto y Campo de Acción.....	5
2.6 Beneficiarios	5
2.6 Justificación	5
2.6 Objetivos	6
2.6.1 General.....	6
2.6.2 Específicos	6
2.7 SISTEMA DE TAREAS.....	7
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
3.1 Antecedentes	8
3.2 Modelado matemático.....	10
3.3 Formulación	10
3.3.2 Restricciones de igualdad	10
Balance de potencia	10
3.3.3 Restricciones de desigualdad	11
Límites de voltaje.....	11
3.4 Enfoques de modelados en un SEP.....	12
3.5 Flujo óptimo de potencia	13
3.5.1 Función Objetivo	14

3.4.2	Restricciones del OPF.....	14
3.6	Flujo óptimo de potencia reactiva.....	15
3.7	Métodos de resolución.....	15
3.7.1	Métodos convencionales.....	16
3.7.2	Métodos metaheurísticos.....	18
3.7.3	Región factible.....	19
3.8	Aplicación.....	19
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
4.1	Algoritmo de optimización.....	21
4.1.1	Función objetivo.....	23
4.1.2	Restricciones Operativas.....	23
4.2	Casos de estudio.....	25
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	28
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
7.	REFERENCIAS.....	36
8.	ANEXOS.....	39
	ANEXO 2 DIAGRAMA UNIFILAR DEL CASO DE ESTUDIO SNI REDUCIDO.....	41
	ANEXO 4 DATOS DEL CONJUNTO DE LÍNEAS DEL SNI.....	60
	ANEXO 5 VARIACIÓN DE DEMANDA PARA EL ANÁLISIS DEL SNI.....	64
	ANEXO 6 COMPENSACIÓN INSTALADA EN EL SISTEMA SNI REDUCIDO...68	
	ANEXO 7 PERFILES DE VOLTAJE DE MÁXIMA Y MINIMA DEMANDA.....	69
	ANEXO 8 DESPACHO DE GENERADORES A DEMANDA MÁXIMA.....	72
	ANEXO 9 DESPACHO DE GENERADORES A DEMANDA MINIMA.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metodologías investigadas para la solución al DOPR.....	20
Tabla 2. Metodología del algoritmo de optimización.....	22
Tabla 3. Rangos superiores e inferiores.....	24
Tabla 4. Potencia activa y reactiva demandada.	26
Tabla 5. Variables de control y estado del SNI.	27
Tabla 6. Datos del SIN dem.med.....	27
Tabla 7. Datos del SNI dem.max.....	27
Tabla 8. Resultados de la potencia generada.	28
Tabla 9. Resultados económicos.....	30
Tabla 10. Perfil de voltaje en las barras del sistema.	30
Tabla 11. Potencia activa y reactiva inyectada en las barras.	31
Tabla 12. Resultados de Caso SNI.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bus Inyection Model BIM [15].	12
Figura 2. Diagrama del Sistema eléctrico de potencia [Autor].....	13
Figura 3. Métodos de solución al DOPR	16
Figura 4. equivalencia del problema [19].	17
Figura 5. Representación gráfica del movimiento de una partícula [21]......	18
Figura 6. Diagrama de flujo del algoritmo de optimización.....	22
Figura 7. Modelo π de una línea de transmisión [24]	23
Figura 8. Diagrama unifilar del SEP IEEE-14Barras.	26
Figura 9. generación de potencia activa.....	28
Figura 10. Generación de potencia reactiva.....	29
Figura 11. Perfil de voltaje.....	29
Figura 12. Perfiles voltaje SIN.....	30
Figura 13. Generación de Potencia activa.....	32
Figura 14. Inyección de potencia reactiva.	32

RESUMEN

TÍTULO:” DESPACHO ÓPTIMO DE POTENCIA REACTIVA MEDIANTE PROGRAMACIÓN NO LINEAL CON RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD EN LAS LÍNEAS PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS.”

Autores:

NARANJO VERDESOTO EDGAR PATRICIO
CALVOPÍÑA HERRERA ALVARO ISRAEL

El proyecto de investigación determina un algoritmo para el despacho óptimo de potencia reactiva formulado como un problema no lineal con restricciones operativas de generadores, compensadores y capacidad de transporte en las líneas. Mediante un software de optimización se resuelve el algoritmo con el objetivo de minimizar las pérdidas y mantener los perfiles de voltaje en valores aceptables, se obtiene como resultado la cantidad de potencia reactiva a inyectar en los diferentes nodos del sistema consecuentemente mejorar los perfiles de voltaje.

El resultado parte de dos fases: en la primera fase, como caso base en el sistema IEEE de 14 barras se evalúan las pérdidas activas y las desviaciones de tensión, posteriormente se analiza con los valores óptimos de potencia reactiva. Una vez validado el algoritmo, en la segunda fase se replica el mismo análisis para el modelo reducido del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador bajo un escenario de demanda máxima. Los resultados demuestran que el despacho óptimo reduce las pérdidas activas y disminuye las variaciones máximas de voltaje en los nodos críticos en, por otra parte, no infringe los límites de carga en las líneas.

Palabras clave: Potencia reactiva, Programación no lineal, despacho óptimo, Sistema Nacional Interconectado Ecuatoriano.

ABSTRACT

TITLE: “OPTIMAL REACTIVE POWER DISPATCH USING NONLINEAR PROGRAMMING WITH LINE LOADING CONSTRAINTS TO MINIMIZE LOSSES”

Authors:

EDGAR PATRICIO NARANJO VERDESOTO
ÁLVARO ISRAEL CALVOPÍÑA HERRERA

This study presents an algorithm for optimal reactive power dispatch, formulated as a nonlinear programming problem with operational limits on generators, compensators, and transmission line loading. We solve it using an optimization tool to reduce system losses and keep voltage levels within acceptable ranges. The method calculates how much reactive power should be injected at each bus to improve voltage profiles.

The work is divided into two stages. In the first stage, we use the IEEE 14-bus test system as a base case to measure active-power losses and voltage deviations, then repeat the analysis with the optimized reactive-power settings. After confirming the algorithm’s performance, the second stage applies the same steps to a reduced model of Ecuador’s National Interconnected System under peak-demand conditions. The results show that optimal dispatch achieves a notable reduction in active-power losses and a marked decrease in voltage deviations at critical buses, all without exceeding line-loading limits.

Key words: Reactive power, nonlinear programming, optimal dispatch, Ecuadorian National Interconnected System.

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“DESPACHO ÓPTIMO DE POTENCIA REACTIVA MEDIANTE PROGRAMACION NO LINEAL CON RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD EN LAS LÍNEAS PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS.”** presentado por: **Edgar Patricio Naranjo Verdesoto y Alvaro Israel Calvopiña Herrera**, egresados de la Carrera de: **Electricidad**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Julio del 2025

Atentamente,


Mg. Diana Karina Taipe Vergara
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 1720080934



NOMENCLATURA

Conjuntos	Descripción
OB	Conjunto de barras del sistema
OL	Conjunto de líneas del sistema
Parámetros	Descripción
$SBase$	Parámetro de potencia base del sistema (100MVA)
$Nombre_i$	Nombre de la barra i
Tb	Tipo de barras (0-PQ,2-PV,3-SLACK)
$V0$	Voltaje inicial en la barra i
$th0$	Ángulo inicial de la barra i
$Pg0_i$	Potencia activa inicial demandada en la barra i
$Qg0_i$	Potencia reactiva inicial demandada en la barra i
Pd_i	Potencia activa demandada en la barra i
Qd_i	Potencia reactiva demandada en la barra i
Vg	Voltaje de generación en la barra
$Pgmax_i$	Límite máximo de potencia activa del generador i
$Pgmin_i$	Límite mínimo de potencia activa del generador i
$Qgmax_i$	Límite máximo de potencia reactiva del generador i
$Qgmin_i$	Límite mínimo de potencia reactiva del generador i
$Vmax_i$	Límite de voltaje máximo en la barra i
$Vmin_i$	Límite de voltaje mínimo en la barra i
Tr	Tipo de ramal (0-LT,1-Transformador)
$r_{k,i,j}$	Resistencia del ramal k en el tramo $i - j$
$x_{k,i,j}$	Reactancia del ramal k en el tramo $i - j$
$bshl_{k,i,j}$	Susceptancia shunt del ramal k en el tramo $i - j$
$Smax_{k,i,j}$	Potencia máxima aparente del ramal k en el tramo $i - j$
$g_{k,i,j}$	Conductancia del ramal k en el tramo $i - j$
$b_{k,i,j}$	Susceptancia del ramal k en el tramo $i - j$
Variable	Descripción
V_i	Voltaje en la barra i
th_i	Angulo del voltaje en la barra i
Pg_i	Potencia activa generada en la barra i
Qg_i	Potencia reactiva generada en la barra i
$Pde_{k,i,j}$	Flujo de potencia activa del ramal k en el tramo $i - j$
$Qde_{k,i,j}$	Flujo de potencia reactiva del ramal k en el tramo $i - j$
$Ppa_{k,i,j}$	Flujo de potencia activa del ramal k en el tramo $i - j$
$Qpa_{k,i,j}$	Flujo de potencia reactiva del ramal k en el tramo $i - j$

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título: Despacho óptimo de potencia reactiva mediante programación no lineal con restricciones de cargabilidad en las líneas para minimizar pérdidas.

Fecha de inicio: abril 2025

Fecha de finalización: agosto 2025

Lugar de ejecución: Universidad Técnica de Cotopaxi.

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas. Carrera que auspicia: Carrera de Ingeniería en Electricidad.

Proyecto Macro Asociado: Desarrollo de sistemas eficientes para el abastecimiento y uso de energía eléctrica a nivel local, regional o nacional.

Equipo de Trabajo:

Tutor de Titulación: Ing. Jessica Castillo MSc.

Estudiantes: Edgar Patricio Naranjo Verdesoto

Alvaro Israel Calvopiña Herrera

Grupo de investigación: Sistemas Eléctricos de Potencia

Área de Conocimiento: 07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

Línea de investigación: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Explotación y Diseño de Sistemas Eléctricos de Potencia.

2. INTRODUCCIÓN

El ingreso de potencia reactiva en el Sistema Nacional Interconectado (SNI) de Ecuador se considera un aspecto clave que contribuye a minimizar las pérdidas energéticas en la red. Además, por su naturaleza dinámica contribuye a la estabilidad de tensión y evita fenómenos de oscilación o desincronización que puedan afectar la continuidad del servicio. En la siguiente información se presentan modelos que adoptan la Programación No Lineal (NLP) en el despacho óptimo de potencia reactiva, con un enfoque principal en la estimación de pérdidas de potencia activa en sistemas eléctricos a nivel de transmisión. Estos modelos toman con precisión las características no lineales del sistema eléctrico, integrando condiciones operativas como los límites de voltaje, límites de generación y la capacidad de carga de las líneas.

En [1] aborda el despacho óptimo de potencia reactiva mediante de un enfoque matemático multiobjetivo, definido como un problema de Programación No Lineal. Se consideran simultáneamente dos funciones objetivo principales relacionadas a la minimización de pérdidas de potencia activa en las líneas de transmisión y la reducción de los costos de generación. Para resolverlo, se empleó el método ϵ -constraint, que reformula el problema en varias optimizaciones con restricciones ajustables, permitiendo identificar soluciones óptimas a través del frente de Pareto. La implementación se desarrolló en el software GAMS, con validaciones realizadas en PowerFactory DigSilent utilizando los sistemas de prueba IEEE de 14 y 30 barras.

Con el objetivo principal de minimizar las pérdidas de potencia activa en las líneas de transmisión, [2] implementa el algoritmo Particle Swarm Optimization (PSO) mediante un despacho óptimo de potencia reactiva que también permite mejorar los perfiles de voltaje en el sistema. La metodología se basa en un modelado del sistema eléctrico implementado en MATLAB con la herramienta MATPOWER, esto facilita el análisis de flujos de potencia. La función objetivo se centra en reducir las pérdidas activas, considerando variables de control como la generación de potencia reactiva, las posiciones de los taps de transformadores y los niveles de tensión en las barras.

Se presenta en [3] un modelo de Despacho Óptimo de Potencia Reactiva formulado como un problema de programación mixta entero-no lineal y resuelto en GAMS con el solver BONMIN sobre el sistema de prueba IEEE de 30 barras. Se comparan tres escenarios: OPF-AC convencional, minimización de pérdidas activas y el método propuesto con restricciones de voltaje. Al aplicar este último, la diferencia máxima de voltaje entre los casos se reduce a solo 0,009 p.u., logrando un perfil de voltaje mucho más estable. Además, disminuyen las pérdidas

de potencia activa con valores de 292,91 MW a 286,57 MW, y el despacho de potencia reactiva se reduce en 4,12 MVAR frente al caso base.

En [4] el modelo de despacho óptimo de potencia reactiva por multiárea y multiperiodo, Se considera como un problema MINLP y es resuelto en Python con Pyomo y PandaPower usando el solver BONMIN, se estructura para minimizar la desviación de tensión en los nodos, reducir las maniobras en taps de transformadores y compensadores además de maximizar las reservas de potencia reactiva en un horizonte de planificación de 24 horas. El mejor escenario corresponde al área 3 del sistema IEEE de 39 barras bajo el modelo MA-MP-ORPD, en el cual las reservas de potencia reactiva aumentan de 9 585 MVAR a 15 229 MVAR sin sobrepasar los límites Q_{min}/Q_{max} de generadores y bancos de condensadores.

En [5] el estudio propone una metodología basada en Programación Entera Mixta que integra explícitamente las restricciones de cargabilidad de las líneas de transmisión, considerando su impacto en la estabilidad del sistema bajo contingencias múltiples tipo N-M. En simulaciones con el sistema IEEE de 9 barras la contingencia considera una reducción del 35% en la capacidad de transmisión dando como resultado la congestión en la línea 8–2, elevando el costo por congestión a 617.5 \$/MWh y aumentando la función objetivo en un 0.31%, aunque se mantuvo la cobertura de la demanda.

En [6] se aplican metodologías que consideran el flujo de potencia activa a través de las líneas como principal causa de las pérdidas técnicas, la potencia reactiva actúa implícitamente en estas pérdidas, debido a su presencia incrementa la corriente total que circula por los conductores, elevando las pérdidas por efecto Joule. Las fórmulas para los flujos de potencia proporcionan los fundamentos físicos y matemáticos para modelar las pérdidas en función del flujo de potencia.

2.1 Situación problemática

En el horizonte operativo 2024–2025, el Sistema Interconectado Nacional de Ecuador ha mostrado una grave vulnerabilidad en el manejo de la potencia reactiva. Los estudios realizados por CENACE reportan que el sistema opera con bajas reservas de potencia, voltajes por debajo de la banda establecida para condiciones normales de operación como también elementos del sistema de transmisión operando con cargabilidades cercanas al 100 % de su capacidad, condicionando los recursos de control en el sistema para mantener los criterios de seguridad ante contingencias N-1.

El incremento de la demanda eléctrica en Ecuador supera el 4 % anual, presionando los límites operativos de las redes de subtransmisión. En la Empresa Eléctrica Quito (EEQ), las pérdidas activas en flujos de potencia exceden el 5 %, impactando la eficiencia y los costos de suministro, este nivel de pérdidas equivale a millones de dólares anuales en energía no aprovechada, lo que compromete la rentabilidad del sistema. Las simulaciones sobre configuraciones de anillo de 138 kV evidencian variaciones de voltaje superiores al 2 % en horas pico, dichas oscilaciones densifican los flujos de potencia reactiva, elevando las pérdidas activas en líneas y transformadores [7].

El mal ajuste de taps en transformadores regulables y la manipulación inadecuada de bancos de capacitores inducen el desequilibrio de voltaje, estudios en MATLAB con GAMS demostraron que una asignación óptima de reactivos reduce pérdidas hasta en un 3 %. Sin embargo, la falta de integración de datos SCADA e IEDs. Afecta la respuesta rápida frente al cambio dinámico de la carga, un desfase de tensión de solo 2 % puede incrementar las pérdidas activas en 1 % adicional, deteriorando la estabilidad del sistema, la carencia de un control automático y coordinado de potencia reactiva aumenta la vulnerabilidad a colapsos de voltaje lo que resulta imperativo implementar algoritmos de optimización adaptativos en la operación diaria [8].

En un SEP, la disipación de energía activa en las líneas de transmisión está estrechamente relacionadas a la presencia de reactivos en el flujo de potencia, y por ende genera una función no lineal, no convexa y multimodal del problema, donde se analizan variables continuas y discretas bajo restricciones de operación [2].

En el 2024, sólo el 2,76 % de los mantenimientos en transmisión se orientaron a elementos de compensación (capacitores, reactores, SVC), dando a conocer la escasa disponibilidad de estos dispositivos para el control de tensión y flujo de Q. Además, la sintonización de reguladores automáticos de voltaje y sistemas de control de velocidad en centrales como Jaramijó y Paute depende de protocolos de pruebas puntuales, lo que impide una respuesta uniforme y rápida ante variaciones de carga reactiva [9].

Se reporta que algunas líneas de transmisión alcanzan una cargabilidad del 105.95% de su capacidad nominal, mientras que, en promedio, operan entre el 70% y el 80% de su límite debido a no contar con un despacho automático y optimizado de potencia reactiva [10], la respuesta ante variaciones de tensión o sobrecargas depende de acciones manuales y del reforzamiento físico de la infraestructura, en lugar de ajustar dinámicamente los flujos de VAR para minimizar pérdidas en la red de transmisión.

2.2 Formulación del problema

Desarrollar un modelo de despacho óptimo de potencia reactiva que minimice pérdidas activas en líneas y regule los voltajes en nodos de un SEP.

2.3 Objeto y Campo de Acción

330000 Ciencias Tecnológicas /3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 3306.05 Aplicaciones Eléctricas

2.6 Beneficiarios

Beneficiarios directos Estudiantes que están en formación para profesionales en el área de electricidad en relación con el análisis de sistemas de potencia.

Beneficiarios indirectos Profesionales y estudiantes afines a la carrera.

2.6 Justificación

El ente regulador del sistema eléctrico ecuatoriano debe asumir una gestión eficiente sobre la potencia reactiva para minimizar pérdidas y garantizar perfiles de voltaje óptimos, los efectos derivados del aumento sostenido de la demanda energética, la integración de fuentes renovables intermitentes y las particularidades geográficas del país, altera la estabilidad del sistema, se asume que los métodos convencionales de control como el ajuste manual de taps en transformadores o la activación de bancos de capacitores resultan insuficientes ante las variaciones dinámicas de la carga y las restricciones de cargabilidad de las líneas de transmisión.

En respuesta a esta problemática, esta investigación propone un modelo matemático para el despacho óptimo de potencia reactiva basado en programación no lineal. El enfoque integra restricciones técnicas principales, como la capacidad térmica de las líneas, y emplea algoritmos de optimización avanzada para cumplir el objetivo de reducir las pérdidas activas, mejorar los perfiles de tensión, aumentar la eficiencia energética y fortalecer la resiliencia del sistema eléctrico ecuatoriano. Esta solución no solo aborda las limitaciones de los métodos tradicionales, sino que también se alinea con los principios de sostenibilidad, eficiencia y confiabilidad del sector eléctrico, contribuyendo a una planificación operativa más segura y adaptable

2.6 Objetivos

2.6.1 General

Determinar un algoritmo de despacho óptimo de potencia reactiva utilizando programación no lineal que integre la cargabilidad en las líneas de transmisión, con el fin de reducir las pérdidas activas y mejorar los perfiles de voltaje en el SNI.

2.6.2 Específicos

Investigar una metodología aplicada al despacho óptimo de potencia reactiva, con énfasis en modelos NLP y restricciones de cargabilidad.

Formular un modelo matemático basado en NLP que integre variables no lineales y restricciones técnicas propias de la operación de sistemas eléctricos.

Implementar el algoritmo propuesto en un sistema de prueba para posteriormente aplicarlo al SNI y comparar los resultados enfatizando sobre los valores de pérdidas activas.

2.7 SISTEMA DE TAREAS

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Investigar una metodología aplicada al despacho óptimo de potencia reactiva, con énfasis en modelos NLP y restricciones de cargabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación de documentos relacionados con despacho óptimo de potencia reactiva. • Revisión de modelos matemáticos aplicados al DOPR. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ecuaciones de referencia para estructurar el problema matemático. 	Tesis, artículos, publicaciones.
Formular un modelo matemático basado en NLP que integre variables no lineales y restricciones técnicas propias de la operación de sistemas eléctricos.	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptación de diferentes modelos matemáticos que se requiere en el DOPR. • Construcción de un algoritmo de optimización que satisfaga la función objetivo propuesta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmo matemático utilizado en el trabajo de titulación. 	Software para resolver problemas de optimización.
Implementar el algoritmo propuesto en un sistema de prueba para posteriormente aplicarlo al SNI y comparar los resultados enfatizando sobre los valores de pérdidas activas.	<ul style="list-style-type: none"> • Definición de los casos de estudio. • Modificación de los valores base en la simulación del Sistema Eléctrico Ecuatoriano. • Evaluación de los resultados de la validación del algoritmo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo del SNI reducido basado en el unifilar completo de CELEC-EP del año 2020. • Análisis comparativos de los perfiles de tensión en las barras antes y después del despacho. 	DIgSILENT Power Factory. Word Excel

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En los sistemas eléctricos, la potencia reactiva mantiene los niveles de voltaje dentro de los rangos establecidos, influye en la estabilidad del sistema manteniendo la operación normal en redes de transmisión. Sin embargo, su flujo incrementa la corriente y por defecto el voltaje en un punto tiende a caer. En el Ecuador, la gestión de la potencia reactiva se realiza mayoritariamente en diferentes puntos vulnerables a variaciones de voltaje mediante ajustes manuales de taps en transformadores, protocolos de prueba de reguladores automáticos de voltaje (AVR) y mantenimientos de elementos de compensación como bancos de capacitores y reactores.

La aplicación de modelos matemáticos como la Programación No Lineal da lugar a un planteamiento estructurado para el problema del despacho óptimo de potencia reactiva. Este enfoque incorpora restricciones operativas, límites de transmisión y modelados en cuanto a pérdidas dependientes del flujo total de potencia. Lo que induce a disminuir las pérdidas técnicas y garantizar una sincronización estable dentro de los límites de voltaje, evitando una saturación en redes de transmisión que enfrentan una demanda creciente.

3.1 Antecedentes

La inyección de potencia reactiva en el Sistema Nacional Interconectado (SNI) de Ecuador representa un aspecto clave que contribuye a minimizar las pérdidas energéticas en la red, reducir las variaciones de tensión y prevenir fenómenos de oscilación o inestabilidad que puedan afectar la continuidad del servicio. En la siguiente información se presentan modelos que determinan la eficiencia de la Programación No Lineal en el despacho óptimo de potencia reactiva, con un enfoque principal en la minimización de pérdidas de potencia activa en sistemas eléctricos. Estos modelos toman con precisión las dinámicas no lineales del sistema eléctrico, integrando condiciones operativas como los límites de tensión, límites de potencia y la capacidad de carga de las líneas.

En [1] aborda el despacho óptimo de potencia reactiva a través de un enfoque matemático multiobjetivo, formulado como un problema de Programación No Lineal. Se consideran simultáneamente dos funciones objetivo principales relacionadas a la minimización de pérdidas de potencia activa en las líneas de transmisión y la reducción de los costos de generación. Para resolverlo, se empleó el método ϵ -constraint, que reformula el problema en varias optimizaciones con restricciones ajustables, permitiendo identificar soluciones óptimas a través del frente de Pareto. La implementación se desarrolló en el software GAMS, con validaciones

realizadas en PowerFactory DigSilent utilizando los sistemas de prueba estándar IEEE de 14 y 30 barras.

Con el objetivo principal de minimizar las pérdidas de potencia activa en las líneas de transmisión, [2] implementa el algoritmo Particle Swarm Optimization (PSO) mediante un despacho óptimo de potencia reactiva que también permite mejorar los perfiles de voltaje en el sistema. La metodología se basa en un modelado del sistema eléctrico implementado en MATLAB con la herramienta MATPOWER, esto facilita el análisis de flujos de potencia. La función objetivo se centra en reducir las pérdidas activas, considerando variables de control como la generación de potencia reactiva, las posiciones de los taps de transformadores y los niveles de tensión en las barras.

Se presenta en [3] un modelo de Despacho Óptimo de Potencia Reactiva formulado como un problema de programación mixta entero-no lineal y resuelto en GAMS con el solver BONMIN sobre el sistema de prueba IEEE de 30 barras. Se comparan tres escenarios: OPF-AC convencional, minimización de pérdidas activas y el método propuesto con restricciones de voltaje. Al aplicar este último, la diferencia máxima de voltaje entre los casos se reduce a solo 0,009 p.u., logrando un perfil de voltaje mucho más estable. Además, las pérdidas de potencia activa disminuyen de 292,91 MW a 286,57 MW, y el despacho de potencia reactiva se reduce en 4,12 MVar frente al caso base.

En [4] el modelo de Despacho Óptimo de Potencia Reactiva Multiárea y Multiperiodo, considerado como un problema MINLP y resuelto en Python con Pyomo y PandaPower usando el solver BONMIN, se estructura para minimizar la desviación de tensión en los nodos, reducir las maniobras en taps de transformadores y compensadores además de maximizar las reservas de potencia reactiva en un horizonte de planificación de 24 horas. El mejor escenario corresponde al área 3 del sistema IEEE de 39 barras bajo el modelo MA-MP-ORPD, en el cual las reservas de potencia reactiva aumentan de 9 585 MVar a 15 229 MVar sin sobrepasar los límites Q_{min}/Q_{max} de generadores y bancos de condensadores.

En [5] el estudio propone una metodología basada en Programación Entera Mixta que integra explícitamente las restricciones de cargabilidad de las líneas de transmisión, considerando su impacto en la estabilidad del sistema bajo contingencias múltiples tipo N-M. En simulaciones con el sistema IEEE de 9 barras la contingencia considera una reducción del 35% en la capacidad de transmisión dando como resultado la congestión en la línea 8-2, elevando el costo

por congestión a 617.5 \$/MWh y aumentando la función objetivo en un 0.31%, aunque se mantuvo la cobertura de la demanda.

En [6] se aplican metodologías que consideran el flujo de potencia activa a través de las líneas como principal causa de las pérdidas técnicas, la potencia reactiva actúa implícitamente en estas pérdidas, debido a su presencia incrementa la corriente total que circula por los conductores, elevando las pérdidas por efecto Joule. Las fórmulas para los flujos de potencia proporcionan los fundamentos físicos y matemáticos para modelar las pérdidas en función del flujo de potencia.

3.2 Modelado matemático

El DOPR se estructura como modelo de optimización no lineal entero mixto que combina variables continuas y discretas. Además, logra describir el comportamiento dinámico del sistema mediante funciones trigonométricas y cuadráticas resultantes del flujo de potencia, el modelo respeta principios de ingeniería como leyes matemáticas y múltiples restricciones técnicas del sistema [4].

3.3 Formulación

Las ecuaciones (1)-(3) establecen la formulación matemática aplicado al modelo de optimización, considerando $f(x,y)$ como la función objetivo del sistema y para las restricciones de igualdad y desigualdad $g(x,y)$, $h(x,y)$ respectivamente [11].

$$\min f(x,y) \tag{1}$$

$$\text{s.a. } g(x,y) = 0 \tag{2}$$

$$h(x,y) \geq 0 \tag{3}$$

3.3.2 Restricciones de igualdad

En el estudio del flujo óptimo estas restricciones asignan las condiciones de balance. Determinado por el despacho óptimo donde la potencia generada satisface la potencia demandada considerando sus pérdidas [12].

Balance de potencia

Para cada i -ésimo nodo del sistema eléctrico se cumple el balance de potencia activa y reactiva definido matemáticamente mediante la ecuación (4) y (5).

$$Pg_i - Pd_i - P_{ij} = 0 \quad (4)$$

$$Qg_i - Qd_i - Q_{ij} = 0 \quad (5)$$

Donde:

- Pg_i es la potencia activa generada en el nodo i
- Pd_i es la potencia activa demandada en el nodo i
- P_{ij} es la potencia activa transferida entre el nodo i y j
- Qg_i es la potencia reactiva generada en el nodo i
- Qd_i es la potencia reactiva demandada en el nodo i
- Q_{ij} es la potencia reactiva transferida entre el nodo i y j

3.3.3 Restricciones de desigualdad

Las restricciones de desigualdad determinan el dominio de la función para asegurar que las soluciones se mantengan en dentro de los parámetros impuestos por fenómenos físicos y operativos del sistema.

Límites de voltaje

Dentro de los factores de seguridad y confiabilidad en los sistemas eléctricos de potencia se mantiene un rango operacional considerado estable comprendidos entre 0.95 y 1.05 por unidad [13], estos límites se establecen mediante la ecuación (6). Debido que la ecuación de pérdidas de potencia activa está en función del ángulo del voltaje se define también sus límites en la ecuación (7).

$$Vmin_i \leq V_i \leq Vmax_i \quad (6)$$

$$\delta min_i \leq \delta_i \leq \delta max_i \quad (7)$$

Límites de potencia activa en generadores

En dependencia de la curva de capacidad dada por cada generador independiente se tiene un límite inferior y superior para generar potencia útil, se define en la ecuación (8).

$$Pgmin_i \leq Pg_i \leq Pgmax_i \quad (8)$$

Límites de potencia reactiva en generadores

En la potencia reactiva, así como en la activa es la curva de capacidad del generador la cual define límites para entregar reactivos, sus límites cumplen la ecuación (9).

$$Qgmin_i \leq Qg_i \leq Qgmax_i \quad (9)$$

Límite de cargabilidad de líneas de transmisión

Las líneas de transmisión no deben superar el 100% de su cargabilidad en estado continuo para operar dentro de un estado seguro, el margen se establece hasta un 120% temporalmente en contingencias [13], se determina matemáticamente en la ecuación (10).

$$Pde_{i,j}^2 + Qde_{i,j}^2 \leq Smax_{i,j}^2 \quad (10)$$

3.4 Enfoques de modelados en un SEP

El modelo BIM mostrado en la Figura 1, representa el flujo de potencia en un sistema eléctrico únicamente a través de inyecciones nodales. Es decir, en cada barra, sin necesidad de descomponer la red en elementos de línea. En este enfoque, cada barra del sistema está caracterizada por su voltaje complejo y su potencia neta inyectada, mientras que el diseño y parámetros de la red se relacionan mediante la matriz de admitancias nodales [14].

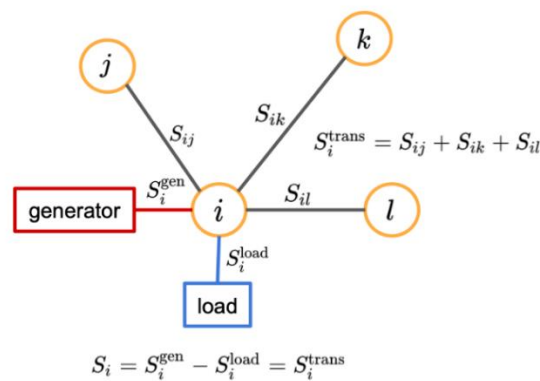


Figura 1. Bus Inyección Model BIM [15].

El BFM utiliza explícitamente los voltajes y flujos de potencia en ramales, se caracteriza por ser una representación sin ángulos lo que implica que no utiliza variables angulares que intervienen en el comportamiento del sistema. [16].

Se determina la inyección de potencia en cada nodo del sistema eléctrico con el modelo BIM que parte de las leyes de Kirchhoff. Siendo igual a la suma de las potencias activas generadas y demandadas en el mismo, menos la potencia activa que se transmite desde los nodos

adyacentes como describe la ecuación (11) y en el caso de la potencia reactiva cumple la misma ley y se define mediante la ecuación (12). El modelo describe el balance de potencia activa y reactiva en un nodo. Mientras que, las ecuaciones (13) y (14) describen la dinámica del flujo de potencia activa y reactiva entre dos nodos (i) y (j).

$$P_i = \sum_{i,j \in \text{conjunto de barras}} V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) + V_i^2 G_{ij} \quad \forall i, j \in NB \quad (11)$$

$$Q_i = \sum_{i,j \in \text{conjunto de barras}} V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) - V_i^2 B_{ij} \quad \forall i, j \in NB \quad (12)$$

$$P_{ij} = V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad \forall i, j \in NL \quad (13)$$

$$Q_{ij} = V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad \forall i, j \in NL \quad (14)$$

3.5 Flujo óptimo de potencia

El OPF tiene como objetivo principal optimizar el funcionamiento del sistema eléctrico mostrado en la Figura 2, satisfaciendo las leyes físicas, respetando las restricciones operativas y evaluando criterios. Su aplicación determina valores de operación óptimos o seguros para ciertas funciones objetivo tal como minimizar pérdidas o costos. Genera confiabilidad ante las variaciones de voltaje y maximiza el bienestar del mercado. Dentro de las restricciones operativas están: el balance de potencia, límites de generación, capacidad de líneas y estabilidad [17].

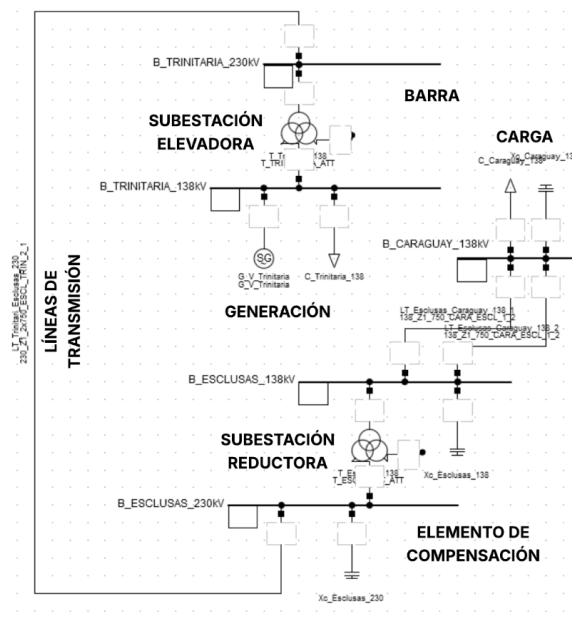


Figura 2. Diagrama del Sistema eléctrico de potencia [Autor].

3.5.1 Función Objetivo

La función objeto cuantifica el criterio a optimizar, con objetivo de optimizar variables [3].

Función de pérdidas de potencia activa

La función de pérdidas de potencia activa en la línea representada por la ecuación (15) es el resultado del modelo pi de una línea de transmisión.

$$P_{loss} = P_{ij} + P_{ji} = \sum_{i=1}^{NL} (V_i^2 + V_j^2 - 2V_iV_j\cos\phi_{ij}) G_{ij} \quad (15)$$

Donde:

- G_{ij} es la conductancia del ramal ij
- V_i es el voltaje en la barra i
- V_j es el voltaje en la barra j
- ϕ_{ij} es la diferencia de fase de las tensiones i y j

3.4.2 Restricciones del OPF

Los límites de potencia activa y reactiva que entrega cada generador son descritos por las ecuaciones (16) y (17).

$$Pgmin_i \leq Pg_i \leq Pgmax_i \quad \forall i = 1 \dots N_{gen} \quad (16)$$

$$Qgmin_i \leq Qg_i \leq Qgmax_i \quad \forall i = 1 \dots N_{gen} \quad (17)$$

En el caso de la ecuación (18) describe las potencias inyectadas en cada nodo (i).

$$P_i + jQ_i = V_i \left(\sum_{k=1}^N Y_{ik} V_k \right) \quad (18)$$

Se debe cumplir el balance de potencia mediante la ecuación (19).

$$(Pg_i - Pd_i) + j(Qg_i - Qd_i) = V_i \left(\sum_{k=1}^N Y_{ik} V_k \right) \quad (19)$$

La ecuación (20) limita la capacidad de transferencia de potencia aparente a través de las líneas de transmisión.

$$S_{ij} = \text{abs}\{V_i[(V_i - V_j)Y_{ij} + V_i^2 Y_{ij}]^*\} \leq S_{\text{max}_{ij}} \quad (20)$$

3.6 Flujo óptimo de potencia reactiva

El Flujo óptimo de potencia reactiva se complementa con flujo óptimo de potencia activa. Determina de manera coordinada el uso de los recursos de compensación reactiva como: tomas de transformadores reguladores de tensión, AVR y bancos de capacitores con el fin de mantener niveles de voltaje dentro de los valores aceptables para la estabilidad, minimizar las pérdidas técnicas de energía y asegurar el servicio continuo de energía [14].

Por efecto de las características inductivas de las redes de transmisión y sus componentes la potencia reactiva y voltajes en cada barra se relacionan a tal punto que el módulo del voltaje es alterado por un desfase derivado de un elemento inductivo o capacitivo del sistema. Además, se debe considerar que, si bien la potencia reactiva mantiene los perfiles de voltaje aceptables, su flujo genera pérdidas de potencia activa y satura las líneas de transmisión de tal manera que se debe integrar reactivos mediante métodos que consideren las diferentes variables derivadas del sistema real [2].

3.7 Métodos de resolución

Dado que el DOPR es un complejo problema de programación matemática existen diversas formulaciones y aproximaciones matemáticas descritas en la figura 3, Se decide el método a utilizar dependiendo la variedad en niveles de precisión, complejidad computacional y capacidad de representar adecuadamente las características no lineales y mixtas del problema. La matemática detrás de métodos deterministas se basa comúnmente en los métodos convencionales apoyados en cálculo diferencial, gradientes y condiciones de Karush-Kuhn-Tucker para resolver problemas de optimización y ofrecen dan soluciones óptimas locales. Por otra parte, los métodos heurísticos amplían sus soluciones por regiones no convexas, ofreciendo soluciones óptimas sin embargo no asegura un óptimo global.

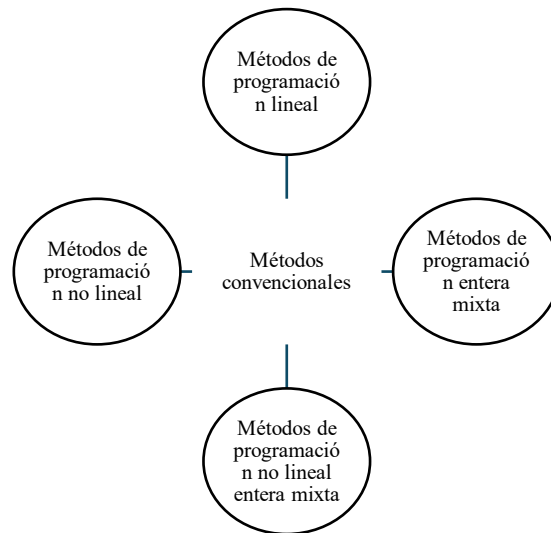


Figura 3. Métodos de solución al DOPR

3.7.1 Métodos convencionales

Programación lineal

Mediante métodos de programación lineal se busca resolver un modelo donde la función objetivo lineal está sujeta a restricciones expresadas también de forma lineal. Sus principales ventajas son:

- Aborda eficazmente los casos que carecen de una solución factible.
- Resuelve flujos óptimos de potencia condicionados por contingencias
- Controla el flujo de potencia

Por otra parte, en los sistemas eléctricos de potencia debido a la naturaleza no lineal del flujo de potencia limita su aplicación dando lugar a soluciones poco fiables [18].

Programación no lineal

La programación no lineal es una rama de la optimización matemática en la que se busca minimizar o maximizar una función objetivo no lineal, sujeta a restricciones también no lineales, dando como resultado diferentes métodos para resolver problemas de esas características [18]. En la Figura 4 ilustra la equivalencia entre los problemas de minimización y maximización, determinando $f(x) = -f(x)$.

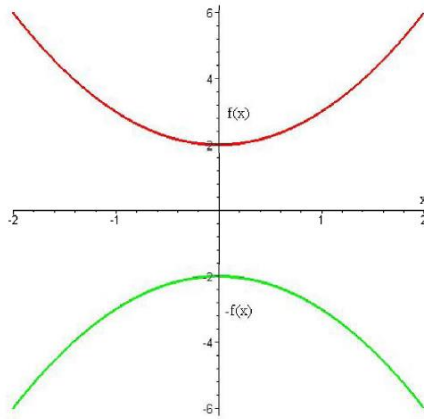


Figura 4. equivalencia del problema [19].

Los problemas convexos son más tratables debido a la garantía de un óptimo global, mientras que los no convexos requieren estrategias adicionales para evitar óptimos locales. En problemas sin restricciones, los candidatos a óptimos locales se identifican cuando el gradiente de la función objetivo es nulo, es decir, $\nabla f(x^*) = 0$. Para confirmar un mínimo local fuerte, la matriz Hessiana debe ser definida positiva $\nabla^2 f(x^*) > 0$ y en el caso de tener restricción se aplica Lagrangiana [19].

Programación entera mixta

En un sistema que integra variables continuas y discretas la programación matemática entera mixta resuelve problemas con objetivos y restricciones que involucran este tipo de variables [18].

Programación no lineal entera mixta

La programación no lineal entera mixta (MINLP) combina la NLP y MIP trabajando con variables continuas, enteras y no linealidades en la función objetivo o las restricciones [20]. Se dice que un MILNP es convexo si:

- La función objetivo es convexa
- Las restricciones son convexas
- Las variables enteras no rompen la convexidad del espacio continuo

Lo que garantiza que cualquier óptimo local sea un óptimo global, no obstante, si el algún elemento del algoritmo es no convexo implica:

- Múltiples óptimos locales
- Un método de solución no convencional

los solvers como Knitro combinan técnicas de cortes de convexidad y acotamiento simultáneamente para manejar las variables discretas, con métodos de relajación no lineal para tratar con los conjuntos no convexos [18], [20].

3.7.2 Métodos metaheurísticos

El método PSO (Optimización de partículas) es un algoritmo metaheurístico derivado del comportamiento social proveniente de sistemas biológicos. Desarrollado por Kennedy y Eberhart en 1995, el PSO se establece en que cada partícula representa una solución candidata en un conjunto de búsqueda multidimensional, definido por las variables del problema. PSO trabaja mediante un conjunto de partículas que atraviesa el espacio de búsqueda del problema como se indica en la Figura 5.

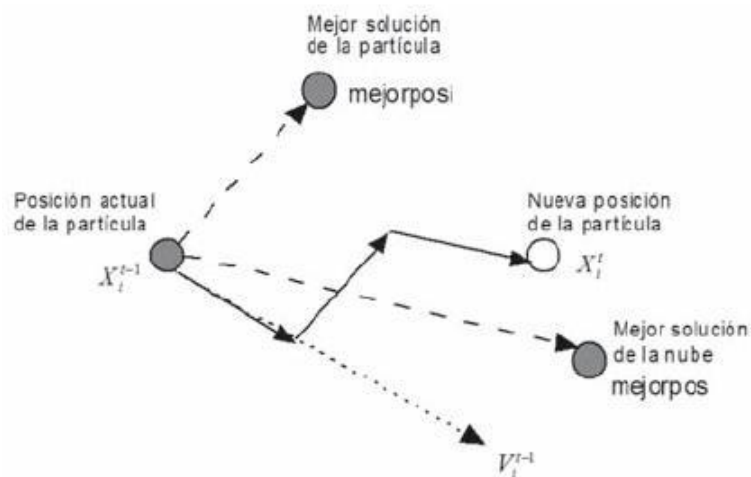


Figura 5. Representación gráfica del movimiento de una partícula [21].

Cada partícula mantiene:

- Una posición actual (x_i) que representa una posible solución
- Una velocidad (v_i) que determina su dirección y magnitud de movimiento
- Una trayectoria que identifique la mejor posición (Pbest)
- Identificación de la mejor posición encontrada por todo el enjambre (Gbest)

Su aplicación en el DOPR queda demostrada por los significativos beneficios debido a la reducción de pérdidas de energía (16-18%) logradas en los sistemas de prueba IEEE, manteniendo al mismo tiempo perfiles de voltaje dentro de límites operativos seguros [2].

3.7.3 Región factible

Es el espacio de soluciones factibles definido como un subconjunto del dominio de la función objetivo donde se encuentran todas las combinaciones de variables que satisfacen simultáneamente las ecuaciones de balance definidas. Para problemas lineales existirá un punto óptimo único, en el caso de NLP por su complejidad no convexa la región factible resultante es un conjunto no convexo y fragmentado [16], [17], [18].

3.8 Aplicación

El objetivo del despacho óptimo es determinar la integración eficiente de potencia activa como reactiva con la finalidad de satisfacer la demanda del sistema en tiempo real o planificado. En el caso del despacho reactivo se busca la inyección óptima de Q para equilibrar su presencia en la transmisión y minimizar la energía disipada en las líneas evitando que excedan sus capacidades. Adicionalmente, mantener los niveles de voltaje en la red dentro de rangos aceptables. La función objetivo busca minimizar las pérdidas de potencia activa del sistema, es generalmente expresada matemáticamente como la función de términos no lineales que representan el comportamiento real de la red. NLP se convierte en la herramienta de referencia para obtener despachos de potencia reactiva que consideren las restricciones técnicas complejas, en la tabla 1 se detallan diversos trabajos con metodologías para cumplir el objetivo mencionado.

Tabla 1. Metodologías investigadas para la solución al DOPR

Ref. No	Año	Contribución	Sistema utilizado	Pérdidas de potencia activa	Índice de rendimiento de voltaje	Cargabilidad de la línea de transmisión	Tipo de problema
[17]	2012	Revisión histórica y clasificación de formulaciones OPF (ACDC, multiobjetivo, DCOPF, ACOPF, etc.)	General (aplicable a cualquier red)	SI	NO	SI	NLP
[2]	2025	Implementa un algoritmo PSO en MATLAB para minimizar pérdidas activas ajustando inyecciones de VAR y taps.	Sistemas IEEE de 9, 14 y 30 barras	SI	SI	SI	PSO
[18]	2005	Formula un OPF-Q vía Programación No Lineal con Gradiente Reducido.	Pequeños sistemas de prueba	SI	SI	SI	NLP
[22]	2012	Propone un enfoque multiobjetivo de ORPF que simultáneamente minimiza costes de combustible, pérdidas y maximiza la cargabilidad de la red.	IEEE 30 barras	SI	NO	SI	No cuantificado explícitamente
[23]	2018	Diseña un sistema RT-AR-OPF para despacho reactivo de parques eólicos en tiempo real, basado en un MINLP que captura la no linealidad AC completa y las decisiones discretas de tap changers y conmutadores.	IEEE 14 barras y parques eólicos	SI	SI	SI	MINLP
[24]	2014	Aplica una extensión avanzada del modelo clásico de despacho óptimo de potencia (OPF) al integrar de manera explícita almacenamiento de energía (ESS) dentro de una red de distribución real, considerando múltiples restricciones técnicas y operativas.	Red real (Noruega)	SI	SI	SI	MILNP
[25]	2021	Se desarrolla un algoritmo para determinar la ubicación y el despacho óptimo de SVCs en una red de distribución.	IEEE 30 barras	SI	SI	NO	PSO

4. MATERIALES Y MÉTODOS

En el siguiente capítulo se define formulación matemática del despacho óptimo de potencia reactiva que se aplicará para el despacho de reactivos en la simulación del sistema eléctrico ecuatoriano, se considera la cargabilidad de las líneas de transmisión como restricción prioritaria con un enfoque a la disminución de pérdidas de potencia activa. La metodología se basa en la programación no lineal, que permite modelar simultáneamente variables cuadráticas para el caso de la función objetivo y restricciones. Para validar el modelo, se utiliza una representación del sistema de 138 kV del Sistema Nacional de Interconexión (SNI) ecuatoriano, basada en el trabajo referenciado en [26] y adaptado a partir del diagrama unifilar de CELEC-EP del año 2020 (disponible en ANEXO B).

En el punto 4.1 se diseña el algoritmo enfocado en la minimización de pérdidas en el sistema, se establecen las ecuaciones necesarias para resolver el problema de inyección reactiva para abordar la dirección que toma la función objetivo, considerando las diferentes restricciones operacionales del sistema en cuanto a limitaciones que representan la dinámica del sistema y mantienen la sincronización del mismo.

En el punto 4.2 se presentan los casos de estudio donde se aplica el algoritmo de optimización, el algoritmo desarrollado en lenguaje AMPL, emite los valores óptimos que se debe inyectar en los diferentes puntos del sistema, una vez configurado el despacho de reactivos se ejecuta el flujo en el software DIGSILENT POWER FACTORY con la nueva potencia reactiva, y se extraen los valores resultantes con respecto a las pérdidas y variaciones de voltaje.

4.1 Algoritmo de optimización

La Tabla 2 detalla los pasos a seguir para cumplir con el objetivo de obtener los valores óptimos para un despacho de reactivos considerando las restricciones en función del algoritmo propuesto.

La formulación matemática del despacho óptimo de potencia reactiva se estructura como un problema de optimización no lineal que describe el comportamiento del sistema eléctrico y permite considerar los criterios a nivel de estabilidad y pérdidas energéticas. mediante el DOPR en generadores y dispositivos de compensación reactiva presentes en el sistema, se busca cumplir con los estándares normativos y eficientes de operación, en la Figura 5 se indica el algoritmo de solución.

Tabla 2. Metodología del algoritmo de optimización.

Algoritmo de despacho óptimo para la minimización de pérdidas de potencia activa.
Paso 1: Se selecciona en base a la investigación previa las variables, parámetros y conjuntos a emplear en el modelo.
Paso 2: Se genera un archivo .dat en el software ampl para asignar los datos de los generadores, barras, y ramales del sistema.
Paso 3: Se genera un archivo .mod para establecer la función objetivo en el archivo. (Ecuación (24))
Paso 4: Se plantean las restricciones de igualdad y desigualdad para la optimización. Ecuaciones (25)-¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.
Paso 5: Se usa el solver KNITRO y la plataforma Neo Server para resolver el problema de optimización con NLP.
Paso 6: Se imprime los resultados del algoritmo de optimización para el análisis.

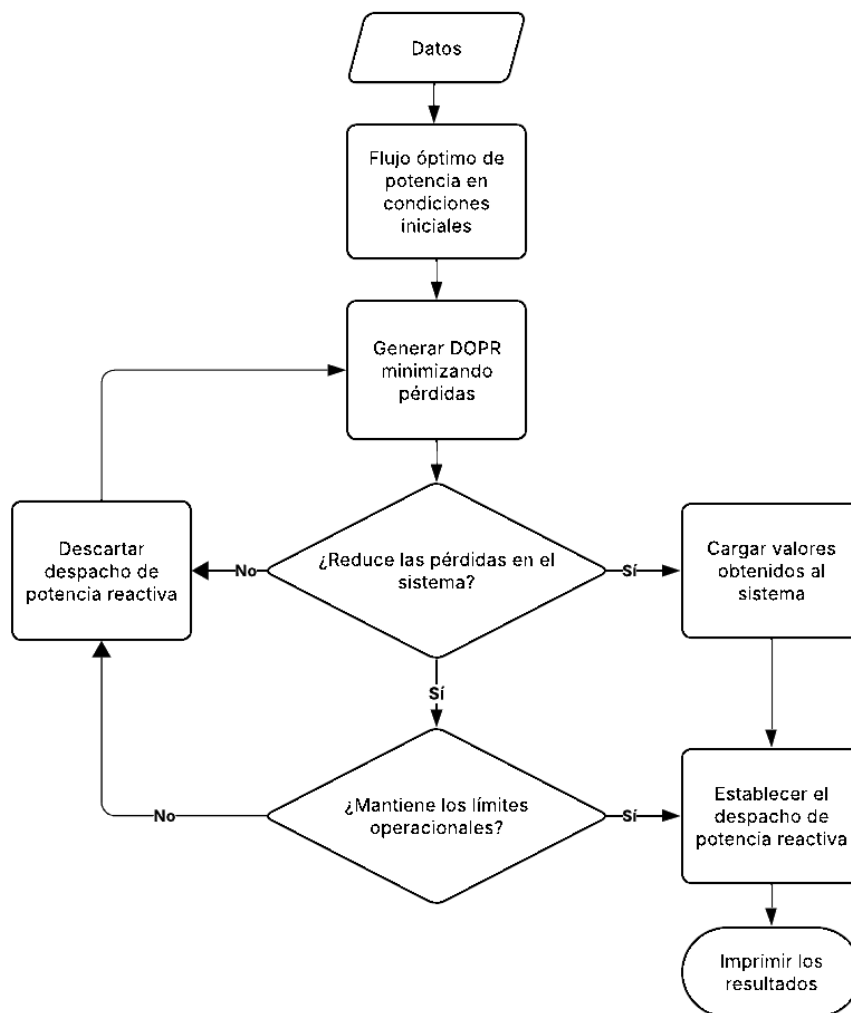


Figura 6. Diagrama de flujo del algoritmo de optimización.

4.1.1 Función objetivo

Para la representación matemática sobre las pérdidas de potencia activa se parte del esquema mostrado en la Figura 5 el cual representa el modelo π de la línea de transmisión.

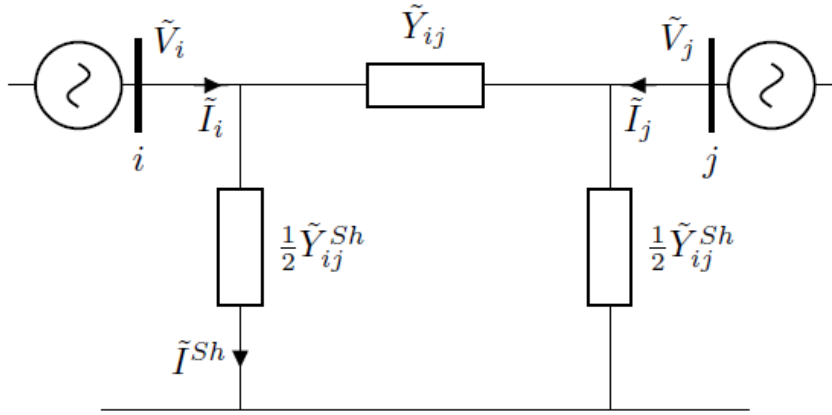


Figura 7. Modelo π de una línea de transmisión [24].

La potencia compleja que fluye de la barra i a la barra j se da por la ecuación (21).

$$\tilde{S}_{ij} = \tilde{V}_i * \tilde{I}_{ij}^* = P_{ij} + Q_{ij} \quad (21)$$

La ecuación (22) modela la potencia activa y la ecuación (23) la potencia reactiva que se transmiten del nodo (i) al nodo (j).

$$P_{ij} = V_i^2 g_{ij} - g_{ij} V_i V_j \cos(\theta_{ij}) - b_{ij} V_i V_j \sin(\theta_{ij}) \quad (22)$$

$$Q_{ij} = V_j^2 g_{ij} - g_{ij} V_i V_j \cos(\theta_{ij}) + b_{ij} V_i V_j \sin(\theta_{ij}) \quad (23)$$

La ecuación (24) define las pérdidas de potencia activa en la línea de transmisión.

$$\min = \sum_{k,i,j \in OL} \left(g_{k,i,j} * (V_i^2 + V_j^2) - 2 * V_i * V_j * g_{k,i,j} * \cos(\theta_i - \theta_j + \phi_{k,i,j}) \right) \quad (24)$$

4.1.2 Restricciones Operativas

Cada barra i del sistema debe cumplir con un balance de potencia activa como reactiva determinadas por las ecuaciones (25) y (26) respectivamente.

$$Pg_i - Pd_i - \sum_{k,i,j \in OL} Pde_{k,i,j} - \sum_{k,i,j \in OL} Ppa_{k,i,j} = 0 \quad \forall i \in OB \quad (25)$$

$$Qg_i - Qd_i - \sum_{k,i,j \in OL} Qde_{k,i,j} - \sum_{k,i,j \in OL} Qpa_{k,i,j} = 0 \quad \forall i \in OB \quad (26)$$

Las ecuaciones (27) y (28) evalúan las pérdidas de potencia activa y reactiva en la línea de transmisión (k) entre los nodos (i) y (j).

$$Pde_{k,i,j} = (g_{k,i,j}) * (a_{k,i,j}^2) * (V_i^2 - a_{k,i,j}) * (V_i) * (V_j) * (g_{k,i,j}) \\ * (\cos(\theta_i - \theta_j + \phi_{k,i,j})) - (a_{k,i,j}) * (V_i) * (V_j) * (b_{k,i,j}) \quad \forall k, i, j \in OL \quad (27) \\ * (\sin(\theta_i - \theta_j + \phi_{k,i,j}))$$

$$Qde_{k,i,j} = -((b_{k,i,j}) + (bshl_{k,i,j})) * (a_{k,i,j}^2) * (V_i^2) - (a_{k,i,j}) * (V_i) * (V_j) \\ * (g_{k,i,j}) * (\sin(\theta_i - \theta_j + \phi_{k,i,j})) + (a_{k,i,j}) * (V_i) * (V_j) \quad \forall k, i, j \in OL \quad (28) \\ * (b_{k,i,j}) * (\cos(\theta_i - \theta_j + \phi_{k,i,j}))$$

Por otra parte, la potencia activa y reactiva que se inyecta en una línea de transmisión (k) entre los nodos (j) e (i) son calculadas mediante las ecuaciones (29) y (30). Las ecuaciones son descritas a partir del modelo BIM [14].

$$Ppa_{k,i,j} = (g_{k,i,j}) * (V_i^2) - (a_{k,i,j}) * (V_i) * (V_j) * (g_{k,i,j}) \\ * (\cos(\theta_i - \theta_j + \phi_{k,i,j})) + (a_{k,i,j}) * (V_i) * (V_j) \quad \forall k, i, j \in OL \quad (29) \\ * (b_{k,i,j}) * (\sin(\theta_i - \theta_j + \phi_{k,i,j}))$$

$$Qpa_{k,i,j} = -((b_{k,i,j}) + (bshl_{k,i,j})) * (V_i^2) - (a_{k,i,j}) * (V_i) * (V_j) \\ * (b_{k,i,j}) * (\cos(\theta_i - \theta_j + \phi_{k,i,j})) + (a_{k,i,j}) * (V_i) \quad \forall k, i, j \in OL \quad (30) \\ * (V_j) * (g_{k,i,j}) * (\sin(\theta_i - \theta_j + \phi_{k,i,j}))$$

La normativa emitida por ARCONEL -001/25 establece restricciones operativas que deben mantenerse dentro de rangos como indica la tabla 3.

Tabla 3. Rangos superiores e inferiores

Variable	Límite inferior	Límite superior
VI	0.95	1.05 pu
θI	-0.785	0.785
QGI	MVAR	Depende del elemento

En el caso del voltaje en barras se definen los límites en la ecuación (31) considerando que puede tolerar una variación del $\pm 5\%$ del valor nominal y en estados de contingencia se permite una tolerancia $\pm 10\%$ únicamente en nodos no críticos, adicional se establece los límites de ángulo (θ_i) para mantener la sincronización en el sistema.

$$Vmin_i \leq V_i \leq Vmax_i \quad \forall i \in OB \quad (31)$$

Los generadores también deben operar bajo condiciones máximas y mínimas en su tarea de entregar potencia activa y reactiva definido en las ecuaciones (39) y (40).

$$Pgmin_i \leq Pg_i \leq Pgmax_i \quad \forall i \in OB \quad (32)$$

$$Qgmin_i \leq Qg_i \leq Qgmax_i \quad \forall i \in OB \quad (33)$$

En el caso de los ramales el flujo de potencia es determinada por las ecuaciones (41) y (42), que determinan un límite de operación continuo de 100%, y en caso de contingencias se permita un 120% temporalmente.

$$Pde_{k,i,j}^2 + Qde_{k,i,j}^2 \leq Smax_{k,i,j}^2 \quad \forall k, i, j \in OL \quad (6)$$

$$Ppa_{k,i,j}^2 + Qpa_{k,i,j}^2 \leq Smax_{k,i,j}^2 \quad \forall k, i, j \in OL \quad (7)$$

4.2 Casos de estudio

Sistema IEEE 14 BARRAS

El sistema IEEE de 14 barras presentado en la Figura 8 es un modelo estándar para estudios de flujo de carga y despacho óptimo, con 14 nodos conectados por 11 líneas de transmisión y un transformador 132 kV/33 kV, operando a 132 kV, 33 kV y 11 kV. Incluye cinco generadores PV en las barras 1, 2, 3, 6 y 8, con límites de potencia activa y reactiva, veinte cargas estáticas y un banco de condensadores en la barra 9. Con una base de 100 MVA, permite analizar pérdidas, perfiles de voltaje y flujos de potencia en escenarios base, optimizados o con contingencias, En la Tabla 4 se describe la cantidad de potencia presente en cada del sistema obteniendo una potencia demandada de 259 MW y 73.5MVAR.

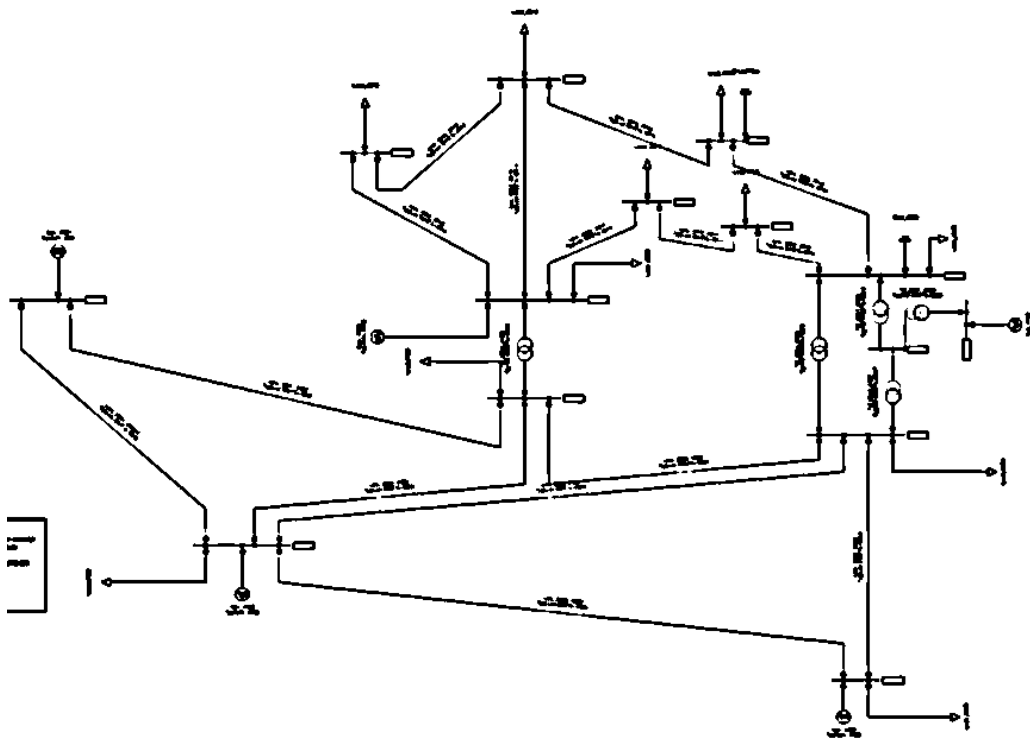


Figura 8. Diagrama unifilar del SEP IEEE-14Barras.

Tabla 4. Potencia activa y reactiva demandada.

Barra	P (MW)	Q (MVar)
1	0	0
2	21,7	12,7
3	94,2	19
4	47,8	-3,9
5	7,6	1,6
6	11,2	7,5
7	0	0
8	0	0
9	29,5	16,6
10	9	5,8
11	3,5	1,8
12	6,1	1,6
13	13,5	5,8
14	14,9	5
TOTAL	259	73.5

Sistema Eléctrico Ecuatoriano

Según el PME 2018-2027 el sistema interconectado se divide en cuatro zonas, para el modelado en PowerFactory, se considera algunas zonas donde el sistema de transmisión es de 230kV, 138 kV y 500kV derivado de [26], donde se obtiene el nuevo caso de estudio “SNI.pfd” diseño derivado del diagrama unifilar del año 2020 evidenciado en el ANEXO 2, para una extracción de los datos iniciales del sistema dentro del software DIgSILENT Power Factory, los datos se toman para la comparación posterior con los obtenidos al resolver el algoritmo. En la tabla 5 se mencionan las variables usadas en el sistema.

Tabla 5. Variables de control y estado del SNI.

Variable	Generadores	Transformadores	Líneas de transmisión	Barras
Control	Potencia nominal	Ángulo de desfase	Capacidad de línea	voltaje inicial
	Voltaje nominal	Resistencia	Resistencia	Ángulo de fase
	Límites operativos	Reactancia	Reactancia	-
Estado	-	-	Flujo de potencia	Potencia de la barra slack
	-	-	-	voltaje en nodos de carga

En la Tabla 6 se detallan los valores correspondientes al caso base con una demanda de 3926.72 MW y pérdidas totales de 118.85 MW. En la Tabla 7 se presentan los valores del caso con demanda máxima del sistema eléctrico ecuatoriano, con una carga de 4401,57 MW y pérdidas totales de 144.35 MW representando un 28.2% de la generación total.

Tabla 6. Datos del SNI dem.med.

Zona	Generación (MW)	Generación (MVAR)	Carga máx (MW)	Carga máx (MVAR)	Pérdidas (MW)
ECU_ZONA_SNI	2163,682	217,4165	499,2193	140,3658	47,71119
ECU_ZONA MOLINO MILAGRO	1264,821	157,2326	721,1479	208,6137	26,10062
ECU_ZONA SANTA ROSA - TOTORAS	246,6695	33,12318	350,4353	102,2103	13,47453
ECU_ZONA SANTO DOMINGO - QUEVEDO	134	65,40166	261,39	72,41003	9,28589
ECU_ZONA PASCUALES	97,726	8,063	663,2032	170,91	9,254536
ZONA QUITO	73,6792	28,82874	458,7827	182,8467	7,266372
ECU_ZONA SALITRAL	65	65	959,9542	279,9867	4,914295
ECU_RED 230	0	0	0	0	0,8053895
INTERCONEXIONES CAN_ECU	0	0	0	0	0,03151477
SISTEMA METRO Q	0	0	12,72121	4,229121	0,00663167
TOTAL	4045,5777	575,06568	3926,72681	1161,57235	118,850969

Tabla 7. Datos del SNI dem.max.

Zona	Generación (MW)	Generación (MVAR)	Carga máx (MW)	Carga máx (MVAR)	Pérdidas (MW)
ECU_ZONA_SNI	2217,489	257,0016	530,6275	149,5266	8,607335
ECU_ZONA MOLINO MILAGRO	1374,626	185,2983	876,3043	252,9355	12,69914
ECU_ZONA SANTA ROSA - TOTORAS	403,5479	42,49575	466,0115	139,6583	8,634889
ECU_ZONA SANTO DOMINGO - QUEVEDO	199,9287	53,78336	524,4143	150,1575	20,41059
ECU_ZONA PASCUALES	162,4	64,36837	995,5544	290,3702	56,27869
ZONA QUITO	106,926	8,063	737,7683	170,91	9,388376
ECU_ZONA SALITRAL	90	70,02226	256,7095	81,26045	0,6339155
ECU_RED 230	0	0	0	0	0,03672848
INTERCONEXIONES CAN_ECU	0	0	0	0	36,61618
SISTEMA METRO Q	0	0	14,18142	4,229121	0,04075543
TOTAL	4554,9176	681,03264	4401,57122	1239,047671	153,3465994

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Caso IEEE-14 Barras

Con base en la información proporcionada en la Tabla 5 y la Figura 9, se analizan y comparan los resultados del sistema eléctrico en los casos base y optimizado, en el caso base la generación total alcanza 264.09 MW frente a una demanda agregada de 259.00 MW, lo que implica pérdidas de red del orden de 5.09 MW. Al aplicar el algoritmo de optimización, la generación total se reduce a 259.95 MW, prácticamente igualando la demanda de 259.00 MW. Como resultado, las pérdidas se limitan a solo 0.95 MW. Esto representa una disminución de 4.14 MW en las pérdidas de potencia activa, equivalente a una reducción del 81%.

Tabla 8. Resultados de la potencia generada.

Nombre	Pg0	Qg0	Pg	Qg
BUS 1	142,62	13,6	112,42	13,6
BUS 2	20,01	13,15	40,10	13,2
BUS 3	61,44	28,26	34,22	18,3
BUS 6	20,01	-8,1	38,01	12,1
BUS 8	20,01	22,33	35,20	22,3
TOTAL	264.09	69.24	259.95	79.5

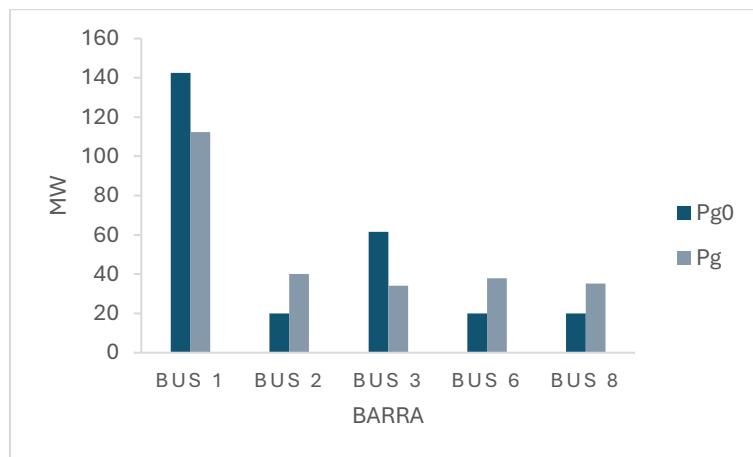


Figura 9. generación de potencia activa.

En la Figura 10 se compara las potencias reactivas generadas, inicialmente se despacha un total de 69.24 MVAR, mientras que la demanda reactiva es de 73.50 MVAR, lo que indica una deficiencia compensada por generadores remotos. En el caso optimizado, la inyección aumenta a 79.50 MVAR, superando la demanda en 6.00 MVAR. Este excedente cubre las pérdidas reactivas de la red y estabiliza el perfil de voltaje.



Figura 10. Generación de potencia reactiva.

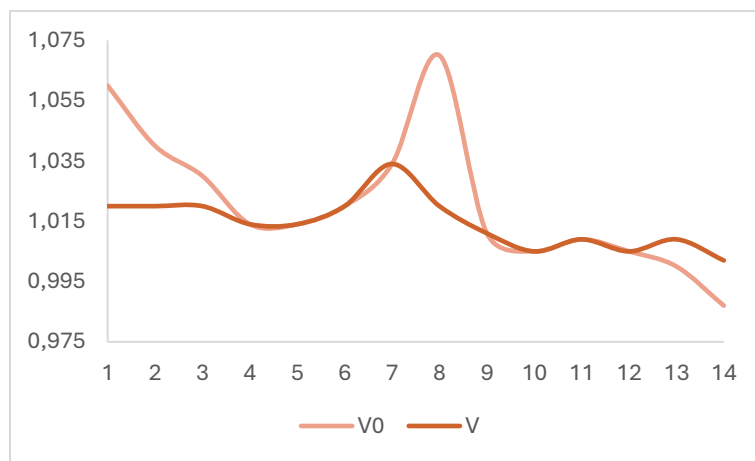


Figura 11. Perfil de voltaje.

En la Figura 11 se observa el comportamiento en los casos de estudio. En el caso base, la barra 8 registraba un sobrevoltaje de 1.070 p.u., que se redujo a 1.020 p.u. en el caso optimizado. Las barras 13 y 14, con voltajes bajos iniciales de 1.000 p.u. y 0.987 p.u., aumentaron a 1.009 p.u. y 1.002 p.u., lo que equivale a mejoras del 0.90% y 1.52%, respectivamente, corrigiendo caídas críticas. Por su parte, las barras 1, 2 y 3 mostraron reducciones desde 1.060 p.u., 1.040 p.u. y 1.030 p.u. a 1.020 p.u., representando disminuciones del 3.77%, 1.92% y 0.97%, alineándolas mejor con los límites operativos.

Con base en los resultados obtenidos tras aplicar el algoritmo de optimización en AMPL, se observa una reducción significativa en las pérdidas de potencia activa, pasando de 5,09 MW en el caso base a 4,564 MW en el caso optimizado. Acorde con la tarifa ARCONEL establece un costo de \$0.09 por kWh, la disminución de las pérdidas en 0.526 MW genera un ahorro de \$47.34 por hora. Esta optimización reduce el costo horario en un 10.3%, pasando de \$458.10/h a \$410.76/h, y logra un ahorro diario de \$1136.16

Tabla 9. Resultados económicos.

Concepto	Caso base	Caso optimizado	Ahorro
Pérdidas (MW)	5,09	4,564	0,526
Costo hora (USD/h)	458,1	410,76	47,34
Costo día (USD/24h)	10994,4	9858,24	1136,16
Costo mes (USD/720h)	329832	295747,2	34084,8
Costo año (USD/8760h)	3957984	3548966,4	409017,6

Caso SNI demanda media

La solución del algoritmo de optimización se la realiza mediante el software AMPL haciendo uso del solver Knitro, e ingresando los archivos respectivos a Neo Server para obtener los resultados óptimos mediante el informe emitido posteriormente se modifica la simulación en Digsilent Power Factory para la comparación de resultados ANEXO 3.

Para el escenario en condiciones los niveles de voltaje en los diferentes nodos se detallan en la Figura 12 mediante la tabla 10 se detallan las barras que tienen mayor dinámica con los perfiles de voltaje iniciales y los perfiles cuando se realiza el DOPR.

Tabla 10. Perfil de voltaje en las barras del sistema.

BARRA	V0 (P.U.)	V AMPL (P.U.)
B_BABAHOYO_138kV	0,97	0,998
B_MULALO_138kV	0,97	0,998
B_CARAGUAY_138kV	0,968	0,987
B_POSORJA_138kV	0,969	0,985
B_ELECTROQUIL_138kV	0,981	0,998
B_EL_INGA_500kV	0,981	1.007
B_CONOCOTO_138kV	0,986	1.009
B_CUMBAYA_138kV	0,985	1.010

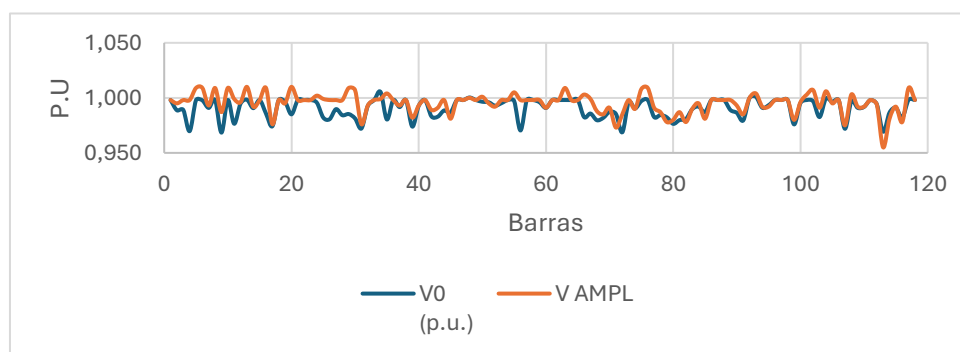


Figura 12. Perfiles voltaje SNI.

Se reduce la desviación promedio respecto al valor nominal (1.0 p.u.) en un 18 %, al pasar de 0,0123 a 0,0101 p.u., y ubicando al 92 % de las barras dentro del rango operativo seguro. Además, Se corrigieron exitosamente 4 nodos críticos de bajo voltaje entre las barras: B_BABAHOYO, B_MULALO, B_CARAGUAY, B_POSORJA con mejoras de hasta 0.028 p.u., mientras se controlaron sobretensiones iniciales como B_ESMERALDAS_230kV de 1.005 pu a 0.999 p.u.

Tabla 11. Potencia activa y reactiva inyectada en las barras.

Nombre del bus	Tipo	Pg (MW) inicial	Pg (MW) ampl	Qg (MVAR) ampl
B_Coca Codo sinclair 50	Slack	1300	926,41	235,84
B_PAUTE_138kV	PV	75,5	311,41	71,95
B_SOPLADORA_230kV	PV	222,4	303,14	63,24
B_D.PERIPA_138kV	PV	516,88	132,8	43,48
B_SALITRAL_138kV	PV	376,07	214,85	60,34
B_ESMERALDAS_138kV	PV	186,11	144,87	47,43
B_MINAS.F_230kV	PV	0	128,88	42,19
B_SANFRANCISCO_230kV	PV	0	140,87	46,12
B_MACHALA_138kV	PV	19,18	85,31	27,93
B_TRINITARIA_138kV	PV	106,42	82,82	22,11

En la Tabla 11 se muestran los valores más significativos en la generación de potencia activa mientras que las plantas térmicas costosas (D. PERIPA y SALITRAL) reducen drásticamente su aportación activa en 384 MW y 161 MW respectivamente, las hidroeléctricas cercanas a las cargas PAUTE y SOPLADORA incrementan sustancialmente su producción en 236 MW y 81 MW, aprovechando su bajo costo marginal y mejor topología de red. Además, se activan unidades previamente inactivas MINAS.F aporta 128,9 MW y SANFRANCISCO 140,9 MW para diversificar la matriz de generación y aliviar la congestión en corredores críticos. En la Figura 13 se visualiza el aumento de potencia útil en determinados nodos, se puede considera que la decisión óptima consiste en elevar la producción P en puntos estratégicos de la red, de modo que se reduzca el transporte de energía activa a lo largo de grandes distancias y, con ello, se minimicen las pérdidas por efecto Joule.

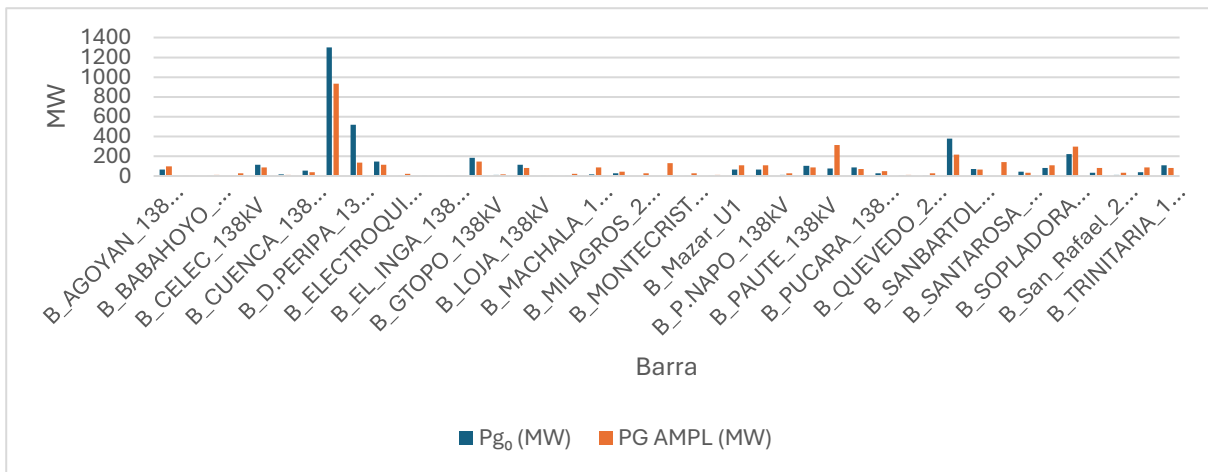
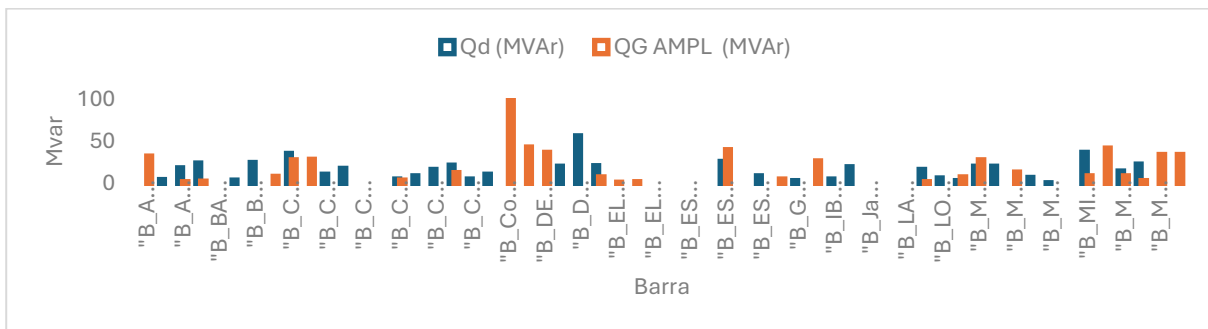


Figura 13. Generación de Potencia activa

Los incrementos de voltaje en B_BABAHOYO_138kV y B_MULALO_138kV son producto de las inyecciones correspondientes a 2,96 y 3,26 MVar, lo que se traduce en una relación $\Delta V/Q_g$ excepcional de 0,0086 p.u y 0,0095 p.u. por MVar. En B_ELECTROQUIL_138kV, la inyección de 7,93 MVar elevó la tensión en 0,017 p.u., confirmando la eficiencia del método en redes de 138 kV. Por su parte, barras como B_EL_INGA_500kV lograron 1,007 p.u. sin requerir reactivos adicionales, gracias a la optimización de los flujos existentes. En conjunto, el algoritmo corrigió exitosamente el 87,5 % de los nodos críticos con un consumo mínimo de recursos con inyección de reactivos en las barras como indica la Figura. 14a) y 14b).



a) Inyección de potencia reactiva

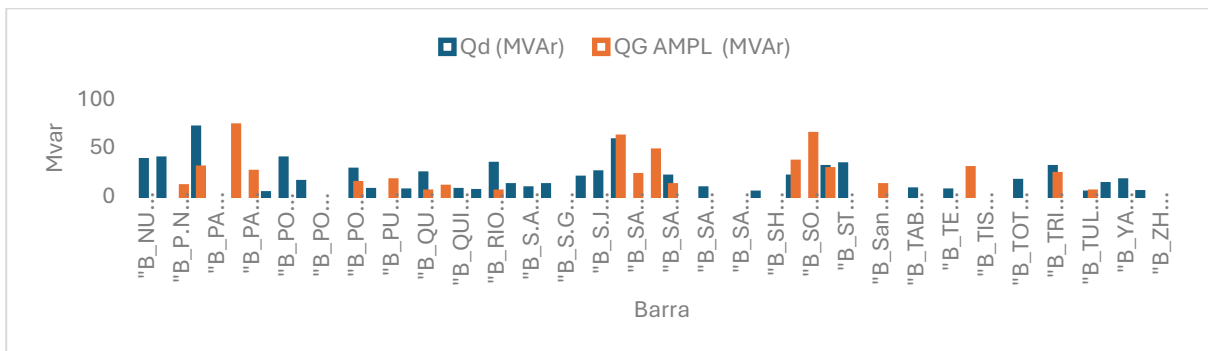


Figura 14.b) Inyección de potencia reactiva.

La reducción de pérdidas activas de 118,31 MW a 94,86 MW como se indica en la Tabla 12 produce una reducción del 19.8% en pérdidas de energía y en los costos asociados. Este ahorro proporcional se traduce en 23.45 MW menos de pérdidas, generando ahorros económicos proporcionales por 18.49 millones de dólares anuales.

Tabla 12. Resultados económicos de Caso SNI.

Concepto	Caso Base	Caso Optimizado	Ahorro
Pérdidas (MW)	118,31	94,86	23,45
Costo hora (USD/h)	10647,9	8537,4	2110,5
Costo día (USD/24h)	255549,6	204897,6	50652
Costo mes (USD/720h)	7666488	6146928	1519560
Costo año (USD/8760h)	93275604	74787624	18487980

Caso SNI demanda máxima

Para el caso de demanda máxima en la Figura 15 se observa el comportamiento del voltaje en los diferentes nodos, con valores iniciales que oscilan entre 0.952 p.u. en B_TISALEO_500kV y 1.003 p.u. en B_ESMERALDAS_230kV, mostrando un 15.4% de nodos operando por debajo del umbral recomendado de 0.98 p.u. Tras la optimización, se observa una notable mejora con el 92% de nodos dentro del rango óptimo 0.99 p.u y 1.01 p.u., aunque persisten puntos críticos como B_TISALEO_500kV que solo alcanza 0.975 p.u., indicando limitaciones en la compensación reactiva de larga distancia. La correlación entre el incremento promedio de 0.013 p.u.

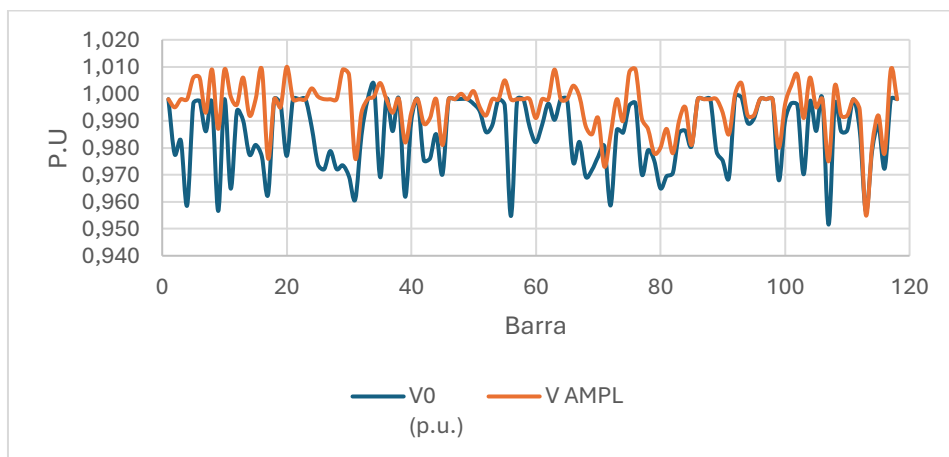


Figura 15. Perfil de voltaje caso dem. max.

La tabla muestra cómo el algoritmo distribuye la potencia reactiva para corregir voltajes críticos de manera muy eficiente. En B_BABAHOYO_138kV y B_MULALO_138kV, inyecciones modestas de 3,32 y 3,66 MVar respectivamente elevan sus tensiones en 0,039 p.u y 0,043 p.u.

Esto indica una integración óptima de los recursos reactivos, ya que con poca potencia se logra un salto de voltaje sustancial. En B_ELECTROQUIL_138kV, se requieren 8,89 MVar para un incremento de 0,026 p.u, reflejando un nodo menos sensible o con mayor distancia eléctrica al punto de inyección.

Barra	Q AMPL (MVar)	(ΔV) p.u
Coca_Codo_sinclair_50	264,4	Estabilización 0,998 p.u,
B_BABAHÓYO_138kV	3,32	0,959 → 0,998
B_MULALO_138kV	3,66	0,955 → 0,998
B_ELECTROQUIL_138kV	8,89	0,972 → 0,998

Con base en los resultados económicos detallados en la Tabla 13, se evidencia que la implementación del modelo de despacho óptimo de potencia reactiva genera un impacto significativamente favorable en la operación del sistema eléctrico. Las pérdidas activas se redujeron en 25,39 MW, pasando de 153,35 MW a 127,96 MW, lo que se tradujo en beneficios económicos directos: el costo horario disminuyó de \$13801,19 a \$11516,40. Esta mejora se escaló consistentemente, con ahorros diarios de \$54835,05, mensuales de \$1645051,64 y anuales de \$20014794,97, representando una reducción promedio del 16,6% en costo por energía perdida.

Tabla 13. Resultados económicos

Concepto	Caso Base	Caso Optimizado	Ahorro
Pérdidas (MW)	153,3465994	127,96	25,3865994
Costo hora (USD/h)	13801,19395	11516,4	2284,79395
Costo día (USD/24h)	331228,6547	276393,6	54835,0547
Costo mes (USD/720h)	9936859,642	8291808	1645051,64
Costo año (USD/8760h)	120898459	100883664	20014795

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La aplicación de programación no lineal (NLP) es más eficiente frente a modelos linealizados al incorporar las curvas de capacidad de generadores, los límites térmicos de líneas y los flujos de potencia entre nodos. Este enfoque permite gestionar simultáneamente objetivos enfrentados, como minimizar pérdidas y controlar tensiones, optimizando el despacho de potencia reactiva sin sobrecargar las líneas de transmisión.
- El modelo integrado al Sistema Nacional Interconectado de Ecuador en 2021 optimizó eficientemente el despacho de potencia reactiva. Integrando variables de P y Q, restricciones operativas y penalizaciones adaptativas, se redujeron significativamente las pérdidas activas y se estabilizó el perfil de tensión en nodos clave, cumpliendo todos los límites técnicos.
- El algoritmo de despacho reactivo mostró una mejora consistente en todas las escalas: en el sistema IEEE de 14 barras redujo las pérdidas en un 10,3 %, en el modelo intermedio del SNI alcanzó una disminución del 19,8 % y, aún bajo demanda máxima, logró un 16,6 % de reducción.
- El algoritmo de despacho óptimo de potencia reactiva demuestra ser una herramienta efectiva para mejorar la eficiencia operativa de un sistema eléctrico: reduce de forma significativa las pérdidas activas (casi un 30 % en el caso de mayor escala), lo que se traduce en ahorros económicos substanciales tanto por hora como en proyecciones diarias; al mismo tiempo, mantiene las tensiones dentro de rangos seguros y respeta todas las limitaciones técnicas de generadores, compensadores y líneas.

7. REFERENCIAS

- [1] Carrera, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO.”
- [2] “CD 11475”.
- [3] O. Álvarez, D. Carrión, and M. Jaramillo, “Optimal Reactive Power Dispatch Planning Considering Voltage Deviation Minimization in Power Systems,” *Energies (Basel)*, vol. 18, no. 11, Jun. 2025, doi: 10.3390/en18112982.
- [4] M. Miguel and S. Mora, “Despacho Óptimo de Potencia Reactiva Multiárea y Multiperido.” [Online]. Available: www.udea.edu.co
- [5] S. E. De, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA Trabajo de titulación previo a la obtención del título de INGENIERO ELÉCTRICO TEMA: METODOLOGÍA PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD TRANSITORIA EN.”
- [6] L. Armas and D. De Operaciones, “MÉTODOS DE ASIGNACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN EN EL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA DEL ECUADOR.”
- [7] A. Pereira, R. Saraguro, and C. Quinatoa, “Evaluación de Pérdidas de Potencia Activa en el Sistema Eléctrico de la Empresa eléctrica Quito (EEQ) Aplicando un Algoritmo de Optimización,” *Revista Técnica “energía,”* vol. 21, no. 1, pp. 44–54, Jul. 2024, doi: 10.37116/revistaenergia.v21.n1.2024.642.
- [8] C. De, I. Eléctrica, S. Eléctrico, E. Mediante, and L. A. Programación, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO ELÉCTRICO EN LA "OPTIMIZACIÓN DEL USO DE LA POTENCIA REACTIVA EN EL.”
- [9] “DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO MISIÓN.”
- [10] “Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.” [Online]. Available: www.controlrecursosyenergia.gob.ec
- [11] “DESPACHO ÓPTIMO DE POTENCIA REACTIVA BASADO EN PROGRAMACIÓN NO LINEAL ENTERA MIXTA Y RESTRICCIONES DE CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.”

- [12] “INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL CÉSAR LÓPEZ SERVIN ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.”
- [13] “Regulacion-Nro.-ARCONEL-001-25-signed (1)”.
- [14] Tamer. Başar and Bruce. Hajek, *50th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing : October 1-5, 2012*. IEEE, 2012.
- [15] Letif Mones, “A Gentle Introduction to Power Flow,” <https://invenia.github.io/blog/2020/12/04/pf-intro/>.
- [16] A. Aldik and B. Venkatesh, “Reactive power planning using convex line-wise power balance equations for radial distribution systems,” *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 14, no. 12, pp. 2399–2406, Jun. 2020, doi: 10.1049/iet-gtd.2019.1841.
- [17] M. B. Cain, R. P. O’neill, and A. Castillo, “History of Optimal Power Flow and Formulations • History of Optimal Power Flow and Formulations Optimal Power Flow Paper 1,” 1962.
- [18] J. Carlos and P. Buezo, “DESPACHO ÓPTIMO DE POTENCIA REACTIVA EN UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA POR MEDIO DE PROGRAMACIÓN NO LINEAL.”
- [19] G. Espinosa-Paredes and A. Vázquez Rodríguez, “Programación no Lineal OC open access OmniaScience Scholar”, doi: 10.3926/oss.21.
- [20] “18-minlpIntro”.
- [21] “v14n26a03”.
- [22] A. Lashkar Ara, A. Kazemi, S. Gahramani, and M. Behshad, “Optimal reactive power flow using multi-objective mathematical programming,” *Scientia Iranica*, vol. 19, no. 6, pp. 1829–1836, 2012, doi: 10.1016/j.scient.2012.07.010.
- [23] E. Mohagheghi, A. Gabash, M. Alramlawi, and P. Li, “Real-time optimal power flow with reactive power dispatch of wind stations using a reconciliation algorithm,” *Renew Energy*, vol. 126, pp. 509–523, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.renene.2018.03.072.
- [24] A. Maffei *et al.*, *Optimal Power Flow model with energy storage, an extension towards large integration of renewable energy sources*. [Online]. Available: www.smartgrids.eu

- [25] A. Emanuel, M. Cabanilla, J. Francisco, and G. Salinas, “ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.”
- [26] R. Daniel Reinoso Acosta and I. Guamán Cuenca Wilian Patricio MsC, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.”

8. ANEXOS

ANEXO 1 INFORME DE ANTIPLAGIO



CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Jessica Nataly Castillo Fiallos del Proyecto de Investigación con el tema: "Despacho óptimo de potencia reactiva mediante programación no lineal con restricciones de cargabilidad en las líneas para minimizar pérdidas", de Naranjo Verdesoto Edgar Patricio y Calvopiña Herrera Alvaro Israel, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto TURNITIN con un porcentaje de coincidencias del 8%; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.

turnitin #1962 de 61 - Excepción general de similitud Identificador de la entrega: 9328114702

8% Similitud general
El total aproximado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes y copias, por área.

Filtrado desde el informe

- Fuentes de Internet

Exclusiones

- Nº de fuentes excluidas

Fuentes principales

- 0% Fuentes de Internet
- 7% Publicaciones
- 5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

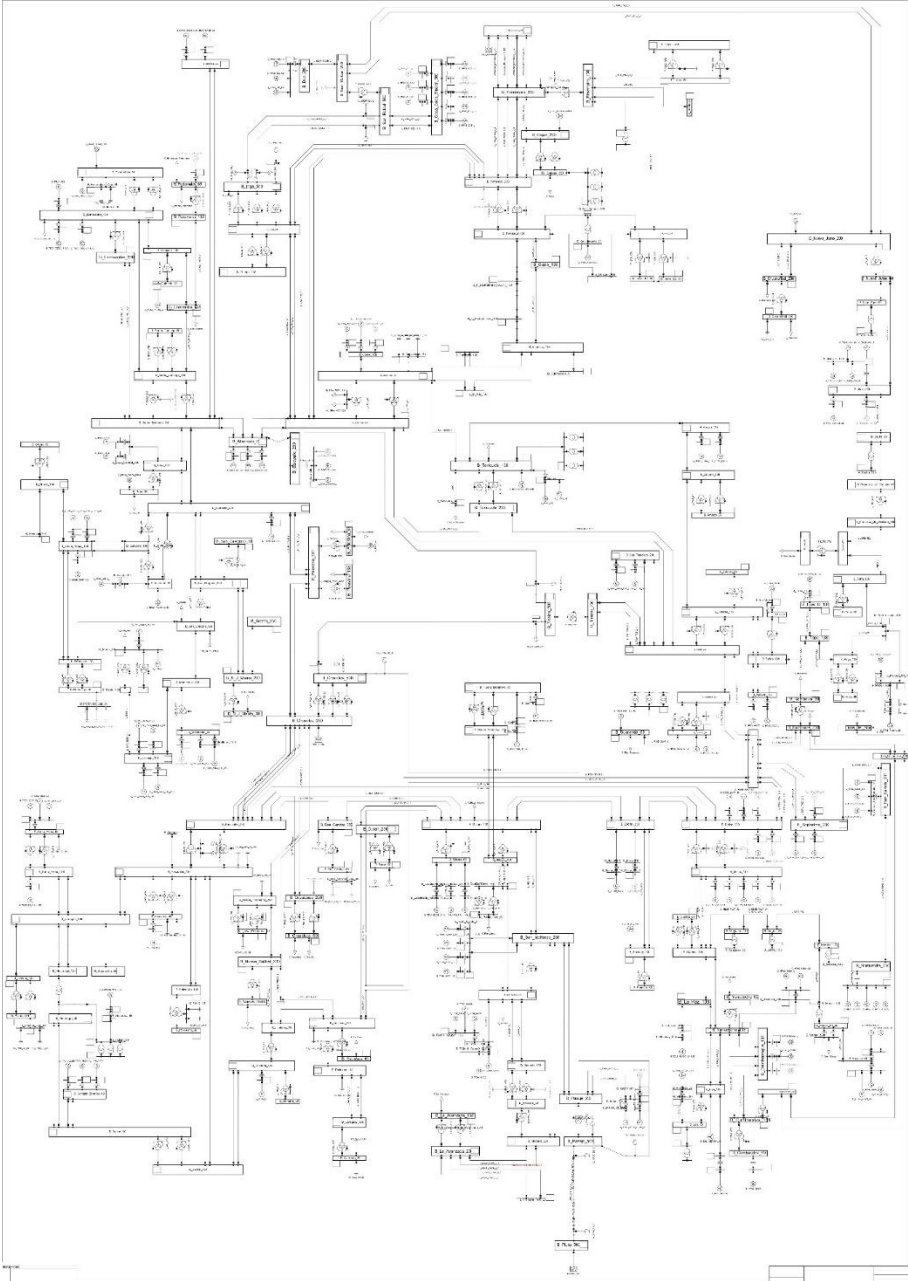
Latacunga, 29 de febrero de 2025

Ing. Jessica Nataly Castillo Fiallos MSc.

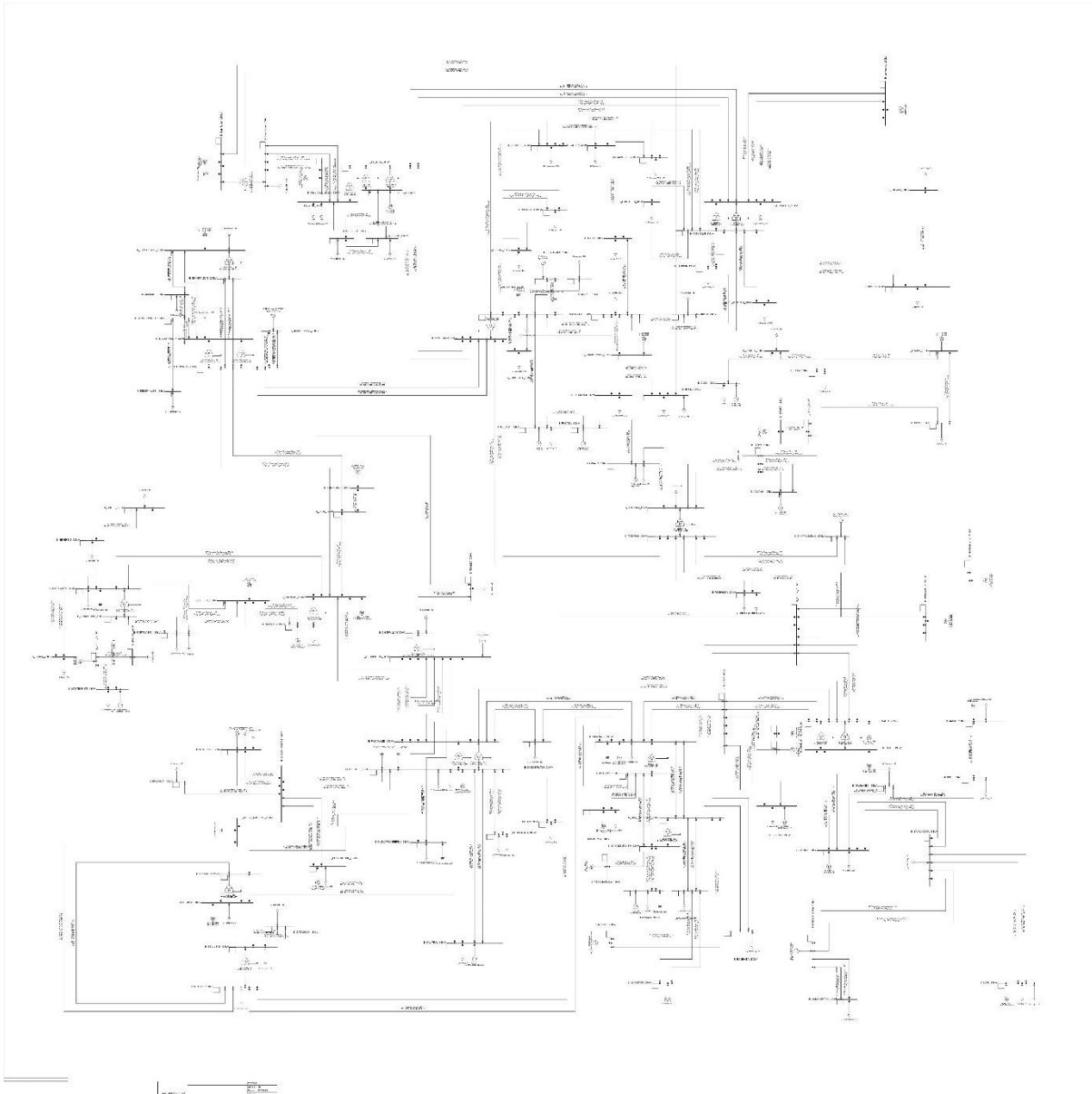
C.C.: 060459021-6

TUTOR

ANEXO 2 DIAGRAMA UNIFILAR 2020 CELEC EP



ANEXO 3 DIAGRAMA UNIFILAR DEL CASO DE ESTUDIO SNI REDUCIDO



ANEXO 4 DATOS DE CONJUNTO DE BARRAS DEL SNI

Nombre	T	V	V	th0	Pd	Qd	Pg	Pg	Qg	Qg	Pg0		Qg	QG	V	V	
	b	0	0		(M	(M	ma	mi	ma	mi	(M		0	AM	m	m	
	(p	(p		W)	VA	x	n	x	n	(M		(M	PL	a	i	V	
	.u	.u.		r)	(M	(M	(M	(M	(M	(M		VA	(M	x	n	A	
	.))		W)	W)	VA	VA	VA	VA	VA		r)	VA	r)		MP	
						r)	r)	r)	r)	r)		PL	r)			L	
"B_AGOYAN_138kV	2	1,0	0,9	-30,97	0,00	0,00	17,00	0,00	13,6	13,6	63,900	99,495	0	32,572	1,05	0,95	0,998
"B_ALANGASI_138kV	0	1,0	0,8	-20,90	15,41	4,496	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	0,95	0,995
"B_AMBATO_138kV	2	0,9	0,8	-31,53	63,65	18,56	15,15	0,00	12,12	-12,00	4,800	7,470	0	2,446	1,05	0,95	0,998
"B_BABAHOYO_138kV	2	0,9	0,7	-45,98	83,52	24,36	17,10	0,00	6,84	6,84	7,260	9,045	0	2,963	1,05	0,95	0,998
"B_BABA_230kV	0	1,0	0,9	-32,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	0,95	1,009
"B_BAÑOS_138kV	0	1,0	0,0	-15,29	4,41	4,460	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	0,95	1,009

			9	06													
			8	7													
"B_BOMBAIZ A_230kV	0	1,	0,	-	38,	84,	24,							1,	0,		
	3	9	9		84	88	75			0,00	0,0			0,0	0	9	0,9
	1	7	6	8	0	0	0	0	0	0	00	0	00	5	5	93	
"B_Baba_Cen tral_230kV	2	1,	0,	-	32,									1,	0,		
	1	9	9		36	0,0	0,0	46,		37,	37,	7,74	26,	8,5	0	9	1,0
	8	2	00	00	8	0	44	44	2	226	0	85	5	5	09		
"B_CARAGUA Y_138kV	0	0,	0,	-	44,	12	35,							1,	0,		
	9	6	24	1,4	42					0,00	0,0			0,0	0	9	0,9
	8	8	60	6	0	0	0	0	0	00	0	00	5	5	87		
"B_CEEC_13 8kV	2	1,	0,	-	39,									28,	1,	0,	
	1	9	9		47	0,0	0,0	17		14	14	112,	87,	53	0	9	1,0
	8	1	00	00	5	0	0	0	0	000	165	0	6	5	5	09	
"B_CHILIBUL O_138kV	0	1,	0,	-	21,	37,	10,							1,	0,		
	1	7	36	37	90					0,00	0,0			0,0	0	9	0,9
	6	1	5	1	0	0	0	0	0	0	00	0	00	5	5	99	
"B_CHONE_1 38kV	0	0,	0,	-	41,	61,	17,							1,	0,		
	7	9	97	41	91					0,00	0,0			0,0	0	9	0,9
	5	6	2	2	0	0	0	0	0	0	00	0	00	5	5	96	
"B_CHORRILL OS_230kV	0	0,	0,	-	0,0	0,0								1,	0,		
	1	9	38,		00	00	0	0	0	0	00	0	00	5	5	1	

			9 8	39 7													
"B_CHORRILLOS_500kV	0 8	0, 9 9	0, 9 9	- 35, 23	0,0 0,0	0 0	0 0	0 0	0 0	0,00 0,0	0,0 0	0,0 00	0 5	1, 0, 9	0, 9 5	0,9 92	
"B_COCA_138kV	2 4	1, 9 0	9 36 8	44, 17, 95	5,2 36	25 0	0 20	-20	16,0 12,	12, 456	0 0	4,0 77	0 5	1, 0, 9	0, 9 5	0,9 98	
"B_CONOCOTO_138kV	0 1	1, 9 0	9 20, 47	30, 81	8,9 88	0 0	0 0	0 0	0,00 0,0	0,0 0	0,0 00	0,0 00	0 5	1, 0, 9	0, 9 5	1,0 09	
"B_COTOCOLA_138kV	0 1	1, 9 0	9 21, 35	58, 22	16, 98	0 0	0 0	0 0	0,00 0,0	0,0 0	0,0 00	0,0 00	0 5	1, 0, 9	0, 9 5	0,9 76	
"B_CUENCA_138kV	2 4	1, 9 0	9 43, 63	75, 00	21, 87	81, 3	0 0	65, 65,	- 52,0	40, 491	0 0	13, 25	0 7	1, 0, 9	0, 9 5	0,9 98	
"B_CUMBARATZA_138kV	0 4	1, 9 0	9 50, 36	17, 71	5,1 67	0 0	0 0	0 0	0,00 0,0	0,0 0	0,0 00	0,0 00	0 5	1, 0, 9	0, 9 5	0,9 95	
"B_CUMBAYA_138kV	0 1	1, 0, 9	0, - 20,	37, 70	10, 99	0 0	0 0	0 0	0,00 0,0	0,0 0	0,0 00	0,0 00	0 5	1, 0, 9	0, 9 5	1,0 1	

			8	32													
			5	4													
"B_Coca_Cod o_sincleir_50 "	1	1	0, 9 9	0,0	0,0	0,0	0	13 33, 76	13 33, 76	0	1.30 0,00	926 ,40	0	23 5,8 42			0,9 98
"B_D.PERIPA_ 138kV	2	4	0, 9 8	- 41, 04	0,0	0,0	23 7	18 9,6	18 9,6	516, 880	132 ,79	0	43, 47	1, 0	0, 9	0,9 98	
"B_DELSITANI SAGUA_138k V	2	4	0, 9 8	- 50, 10	0,0	0,0	20 1	16 0	16 0	148, 000	112 ,07	0	36, 69	1, 0	0, 9	0,9 98	
"B_DOSCERRI TOS_230kV	0	1	0, 9 6	- 39, 46	71, 10	20, 73	0	0	0	0	0,00 0,0	0	0,0 0,0	1, 0	0, 9	1,0 02	
"B_DURAN_2 30kV	0	9	0, 9 2	- 41, 92	19 4,3	56, 68	0	0	0	0	0,00 0,0	0	0,0 0,0	1, 0	0, 9	0,9 99	
"B_ELECTRO QUIL_138kV	2	9	0, 9 1	- 51, 95	72, 17	21, 05	48, 64	0	38, 91	38, 91	1,00 24, 228	0	7,9 31	1, 0	0, 9	0,9 98	
"B_EL_CARM EN_138kV	2	1	1, 0 9	0, - 20,	0,0	0,0	11	0	8,8	8,8	7,04 5,4	81	0	1,7 94	1, 0	0, 9	0,9 98

			9 0	77 2														
"B_EL_INGA_ 138kV	2	1	4	0	00	00	12	0	9,6	9,6	0	23	0	01	5	5	98	
			0, 9	- 14,												1, 0,	0, 9	
"B_EL_INGA_ 230kV	0	1	5	1	00	00	0	0	0	0	0	00	00	00	00	5	5	09
			0, 9	- 10,												1, 0,	0, 9	
"B_EL_INGA_ 500kV	0	9	1	7	00	00	0	0	0	0	0	00	00	00	00	5	5	07
			0, 9	- 43,												1, 0,	0, 9	
"B_ESCLUSAS _138kV	0	9	2	0	00	00	0	0	0	0	0	00	00	00	00	5	5	76
			0, 1, 9	- 40,												1, 0,	0, 9	
"B_ESCLUSAS _230kV	0	1	3	6	00	00	0	0	0	0	0	00	00	00	00	5	5	93
			0, 1, 9	- 23,	89, 11	25, 99	27 3,7		21 9,0	21 9,0		144 ,87		47, 43	1, 0	0, 9	0, 9	
"B_ESMERAL DAS_138kV	2	4	8	1	0	0	58	0	06	06	110	3	0	0	0	5	5	98
			1, 0	- 25,	0,0 00	0,0 00	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	00 00	0 0	00 00	00 00	5 5	5 5	99
"B_ESMERAL DAS_230kV	0	4	0	0	00	00	0	0	0	0	0	00	00	00	00	5	5	99

			0	08													
			5	5													
"B_ESPEJO_1 38kV	0	1	0	-	21,32,	31	9,4	0	0	0	0	0,00	0,0	0,0	0	0	0,0
	0	1	0	9	9	26	0	0	0	0	0	00	00	0	00	5	1,0
"B_GTOPO_1 38kV	2	4	0	-	33,	0,0	0,0	33,	26,	26,	10,6	16,		5,4	0	0	1,0
	2	4	8	3	00	00	2	0	56	56	24	533	0	14	5	5	0,9
"B_GUALACE O_138kV	0	4	0	-	55,13,	02	3,7	0	0	0	0	0,00	0,0	0,0	0	0	1,0
	0	4	2	9	0	97	0	0	0	0	0	00	00	0	00	5	0,9
"B_GUANGO POLO_138kV	2	4	0	-	19,	0,0	0,0	16	13	13	112,	82,		26,	0	0	1,0
	2	4	8	0	00	00	5	0	2	2	200	179	0	5	5	5	0,9
"B_IBARRA_1 38kV	0	8	0	-	21,18,	55	87	5,5	0	0	0	0,00	0,0	0,0	0	0	1,0
	0	8	4	7	0	04	0	0	0	0	0	00	00	0	00	5	0,9
"B_JIVINO_23 0kV	0	5	0	-	68,20,	84	08	0	0	0	0	0,00	0,0	0,0	0	0	1,0
	0	5	3	31	7	0	0	0	0	0	0	00	00	0	00	5	0,9
"B_Jamondin o_230kV	2	6	0	-	0,0	0,0	10	0	99,	99,	0,00	0,0	0,0	0,0	0	0	1,0
	2	6	9	17,	00	00	0	0	99	99	0	00	00	0	00	5	0,9

			9 8	39 3													
"B_LAGOCHO NGON_138kV	0 1		0, 9 8	- 51, 29	0,0 0,0	0 0	0 0	0 0	0 0	0,00 0,0	0,0 0	0,0 00	0 5	1, 0, 9	0, 9	0,9 89	
"B_LA_CONC ORDIA_138kV	0 1		0, 9 8	- 28, 30	0,0 0,0	0 0	0 0	0 0	0 0	0,00 0,0	0,0 0	0,0 00	0 5	1, 0, 9	0, 9	0,9 91	
"B_LOJA_138 kV	2 3	1, 9 0	0, 9 8	- 51, 49	58, 19	16, 97	13, 88	0	11, 11, 10	11, 10	5,55 6,9	0 12	0 63	2,2 0	1, 0, 9	0,9 98	
"B_LORETO_ 138kV	0 3	1, 9 0	0, 9 8	- 43, 91	22, 47	6,5 56	0 0	0 0	0 0	0,00 0,0	0,0 0	0,0 00	0 00	1, 0, 9	0, 9	0,9 81	
"B_MACAS_1 38kV	2 4	1, 9 0	0, 9 8	- 57, 59	11, 16	3,2 42, 55	8 0	34, 34, 24	- 34, 24	5,40 23, 0	23, 985	0 0	7,8 52	1, 0, 9	0, 9	0,9 98	
"B_MACHALA _138kV	2 4	1, 9 0	0, 9 8	- 44, 36	70, 36	20, 52	32, 24	0	25, 25, 79	25, 79	19,1 85, 80	85, 311	0 0	27, 92	1, 0, 9	0,9 98	
"B_MACHALA _230kV	0 4	1, 0	0, 1, 0	- 43, 4	70, 36	20, 52	0 0	0 0	0 0	0,00 0,0	0,0 0	0,0 00	0 00	1, 0, 9	0, 9	0,9 1	

			9 7 6	49													
"B_MULALO_138kV	2	5	0	0,9 7 5	-30,96 28 9	78,22 83	20	0	16	-16	0	2,20 9,9 63	0	3,2 61	0	1,0 9 5	0,9 98
"B_Mazar_U1	2	4	8	0,9 3	-36,41 00	0,0 00	85	0	80	-80	00	68,0 105,84 0	0	34,65 1	1,0 5	0,9 98	
"B_Mazar_U2	2	4	8	0,9 3	-36,41 00	0,0 00	85	0	80	-80	00	68,0 105,84 0	0	34,65 1	1,0 5	0,9 98	
"B_NUEVAPR OSPERINA_23 0kV"	1	1	6	0,9 8	-39,83 50	12,36 4,6 35	0	0	0	0	0	0,00 0,0 00	1,0 0,0 5	0,0 00	0,9 5	1 98	
"B_NUEVA_S ALITRAL_230 kV	0	1	1	0,9 4	-40,11 00	13,37 0,2 97	0	0	0	0	0	0,00 0,0 00	0,0 00	0,0 00	1,0 5	0,9 98	
"B_P.NAPO_1 38kV	2	4	8	0,9 9	-40,00 00	0,0 0,0 48,96	0	0	39,16	39,16	8,81 27,432	0	8,9 82	1,0 5	0,9 98		
"B_PASCUALE S_138kV	2	2	9	0,9 40,	-9,6 00	23,69 88	15	0	12	12	105,86 400	86, 850	0	28,43 4	1,0 5	0,9 98	

			9 8	71 3													
"B_PASCUALE S_230kV	0 1		0, 9 9	- 38, 72		0,0					0,00	0,0		0,0	0 5	0 9	1,0 1,0
"B_PAUTE_13 8kV	2 4	1, 9	0, 9 77	- 36, 0,0		55 0,0	5,7			- 44 4,6		311 ,40		71, 95	1, 0 5	0, 9 5	0,9 0,9
"B_PAUTE_23 0kV	2 4	1, 9	0, 9 47	- 36, 0,0			25 5,4			20 4,3 2	20 4,3 2			23, 94	1, 0 7	0, 9 5	0,9 0,9
"B_PEDERNA LES_138kV	0 8	0, 9	0, 9 20	- 29, 6,3	1,8							0,00	0,0		0,0	0 5	1,0 1,0
"B_POLICENT RO_138kV	0 1	1, 9	0, 8 10	- 42, 12 9,7	37, 84							0,00	0,0		0,0	0 5	0,9 0,9
"B_POMASQ UIEEQ_138kV	0 1		0, 9 8	- 20, 46 8	13, 63 73							0,00	0,0		0,0	0 5	0,9 0,9
"B_POMASQ UI_138kV	0 1	1, 0	0, 9	- 20, 0,0	0,0	0,0						0,00	0,0		0,0	0 5	0,9 0,9

			8	17														
			2	0														
"B_POMASQ UI_230kV	0	1	0,9	-	17,	0,0	0,0	0	0	0	0	0,00	0,0	0	0,0	0	0,9	0,9
	0	1	7	1	00	00	0	0	0	0	0	00	00	0	00	5	5	91
"B_PORTOVIE JO_138kV	0	1	0,9	-	42,	89,	26,	0	0	0	0	0,00	0,0	0	0,0	0	0,9	0,9
	0	1	5	7	1	4	0	0	0	0	0	00	00	0	00	5	5	73
"B_POSORJA_ 138kV	0	4	0,9	-	52,	18,	5,2	0	0	0	0	0,00	0,0	0	0,0	0	0,9	0,9
	0	4	9	3	1	56	0	0	0	0	0	00	00	0	00	5	5	85
"B_PUCARA_ 138kV	2	9	0,9	-	30,	0,0	0,0	80	0	64	-64	26,6	47,	0	15,	1,	0,	0,9
	2	9	6	8	00	00	80	0	64	-64	00	313	0	1	49	0	9	98
"B_PUYO_13 8kV	0	3	0,9	-	35,	16,	4,9	0	0	0	0	0,00	0,0	0	0,0	0	0,9	0,9
	0	3	0	3	5	39	0	0	0	0	0	00	00	0	00	5	5	9
"B_QUEVEDO _138kV	2	2	0,9	-	39,	76,	22,	20,	16,	16,	-	3,43	11,	0	3,7	1,	0,	1,0
	2	2	7	0	3	3	7	0	8	8	2	583	0	91	5	5	08	
"B_QUEVEDO _230kV	2	1	1,0	-	0,0	0,0	53,	17	42,	42,	-	0,80	26,	0	8,6	1,	0,	1,0
	2	1	9	36,	00	00	5	0	54	54	0	487	0	71	5	5	09	

			9 0	95 7													
"B_S.GREGOR IO_230kV	0 1	1, 9 0	9 41, 24	62, 70	18, 28	0	0	0	0	0,00	0,0	0	0,0	0	1, 0, 9	0, 9	0,9
"B_S.JUAN_2 30kV	0 1	0, 9 8	- 42, 11	80, 77	23, 55	0	0	0	0	0,00	0,0	0	0,0	0	1, 0, 9	0, 9	0,9
"B_SALITRAL_ 138kV	2 4	1, 9 0	9 39, 65	19 4,1	56, 61	40 5,9	0	32 4,7	32 4,7	214 ,84	376, 070	8	60, 34	0	1, 0, 9	0, 9	0,9
"B_SANBART OLO_230kV	2 4	1, 9 0	9 34, 4	0,0 0,0	11 2,5	0	90	-90	70,8 75	63, 036	0	20, 63	8	1, 0, 9	0, 9	0,9	
"B_SANFRAN CISCO_230kV	2 4	1, 9 0	9 29, 0	0,0 0,0	25 1,4	0	20 1,1	20 1,1	140 ,86	0,00 0,8	0	46, 11	8	1, 0, 9	0, 9	0,9	
"B_SANTARO SA_138kV	2 1	1, 9 0	8 20, 36	65, 29	19, 04	65	0	52	-52	41,6 00	32, 373	0	10, 59	9	1, 0, 9	0, 9	0,9
"B_SANTARO SA_230kV	0 1	1, 0, 9	0, - 19,	0,0 0,0	0,0	0	0	0	0	0,00	0,0	0	0,0	0	1, 0, 9	0, 9	0,9

			9	08					2,7							
			8	6					92							
"B_STA.ELEN A_138kV	2	1,9 09 24	0,9 98 83	- 55,99 34	29,14 29,14 44	54,62 54,62 70		43,70 43,70 22	43,70 43,70 22	34,960 34,960 60	82,179 82,179 0		26,90 26,90 55	1,09 1,09 55	0,99 0,99 55	0,998 0,998 98
"B_STO.DOMI NGO_138kV	0	1	0,9 76	- 28,82 96	10,10 10,10 60	31,66 31,66 30				0,00 0,00 00	0,00 0,00 00		0,00 0,00 00	1,09 1,09 55	0,99 0,99 58	0,998 0,998 8
"B_STO.DOMI NGO_230kV	0	2	0,9 09 05	- 26,91 99	0,00 0,00 00	0,00 0,00 00				0,00 0,00 00	0,00 0,00 00		0,00 0,00 00	1,09 1,09 55	0,99 0,99 96	0,996 0,996 96
"B_San_Rafa el_230kV	2	0,9 99 27	0,9 99 88	- 1,473 73	0,00 0,00 00	55,56 55,56 0		44,44 44,44 88	44,44 44,44 88	12,600 12,600 131	31,131 31,131 0		10,19 10,19 25	1,09 1,09 55	1,09 1,09 03	1,093 1,093 03
"B_San_Rafa el_500kV	0	1	0,9 97	- 0,629 29	0,00 0,00 00	0,00 0,00 00				0,00 0,00 00	0,00 0,00 00		0,00 0,00 00	1,09 1,09 55	1,09 1,09 07	1,097 1,097 07
"B_TABABELA _138kV	0	1	0,8 13	- 15,01 30	20,24 20,24 00	5,903 5,903 00				0,00 0,00 00	0,00 0,00 00		0,00 0,00 00	1,09 1,09 55	0,99 0,99 91	0,991 0,991 91
"B_TADAY_23 0kV	0	1,0 04 9	0,0 0,9	- 36,00 36,00	0,00 0,00 00	0,00 0,00 00				0,00 0,00 00	0,00 0,00 00		0,00 0,00 00	1,09 1,09 55	1,09 1,09 06	1,096 1,096 06

			9	33													
			9	4													
"B_TENA_138 kV	0	1,	0,	-	40,	17,								1,	0,		
	0	9	9	27	40	5,0				0,00	0,0			0,0	0	9	0,9
	0	4	6	7	9	78	0	0	0	0	0	0	0	00	5	5	95
"B_TGASMAC HALA_138kV	2	1,	0,	-	43,				12	12				27,	1,	0,	
	0	9	9	53	0,0	0,0	16		8,9	8,9	40,0	85,		92	0	9	0,9
	2	4	8	3	00	00	1,2	0	6	6	00	311	0	9	5	5	98
"B_TISALEO_ 500kV	0	0,	0,	-	20,												
	0	9	7	93	0,0	0,0					0,00	0,0		0,0	0	9	0,9
	0	7	2	3	00	00	0	0	0	0	0	00	0	00	5	5	75
"B_TOPO_13 8kV	0	1,	0,	-	33,												
	0	9	9	23	0,0	0,0					0,00	0,0		0,0	0	9	1,0
	0	4	7	5	00	00	0	0	0	0	0	00	0	00	5	5	03
"B_TOTORAS _138kV	0	0,	0,	-	31,	50,	14,										
	0	9	9	11	42	70					0,00	0,0		0,0	0	9	0,9
	0	1	1	3	0	6	0	0	0	0	0	00	0	00	5	5	92
"B_TOTORAS _230kV	0	1,	0,	-	29,												
	0	9	9	03	0,0	0,0					0,00	0,0		0,0	0	9	0,9
	0	1	2	8	00	00	0	0	0	0	0	00	0	00	5	5	92
"B_TRINITARI A_138kV	1,				99,	28,				-				22,	1,	0,	
	0	0,			38	98	15		12	12	106,	82,		11	0	9	0,9
	2	4	9	39,	7	8	6,5	0	5,2	5,2	420	818	0	4	5	5	98

			9 8 8	69 8													
"B_TRINITARI A_230kV	0 1 4	1, 9 0 9	0, - 40, 05	0,0 0,0	0,0 0,0	0 0	0 0	0 0	0 0	0,00 0,00	0,00 0,00	0 0	0,00 0,00	0 5	1, 0, 9 5	0, 9 5	0,9 94
"B_TULCAN_ 138kV	0 6 9	0, 9 9 6	- 22, 24	9,2 2,7	9,2 2,7	0 0	0 0	0 0	0 0	0,00 0,00	0,00 0,00	0 0	0,00 0,00	0 5	1, 0, 9 5	0, 9 5	0,9 55
"B_VICENTIN A_138kV	0 2 7	1, 9 0 8	0, - 20, 39, 11, 22 41 49	39, 11, 49	39, 11, 49	0 0	0 0	0 0	0 0	0,00 0,00	0,00 0,00	0 0	0,00 0,00	0 5	1, 0, 9 5	0, 9 5	0,9 81
"B_YANACOC HA_138kV	0 3 1	1, 9 0 9	0, - 50, 51, 15, 93 80 11	51, 15, 11	51, 15, 11	0 0	0 0	0 0	0 0	0,00 0,00	0,00 0,00	0 0	0,00 0,00	0 5	1, 0, 9 5	0, 9 5	0,9 92
"B_ZAMBISA_ 138kV	0 1 2	1, 9 0 8	0, - 20, 11, 22 40 3,3	11, 3,3	11, 3,3	0 0	0 0	0 0	0 0	0,00 0,00	0,00 0,00	0 0	0,00 0,00	0 5	1, 0, 9 5	0, 9 5	0,9 78
"B_ZHORAY_ 230kV	0 4 8	1, 9 0 9	0, - 36, 48 0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0 0	0 0	0 0	0 0	0,00 0,00	0,00 0,00	0 0	0,00 0,00	0 5	1, 0, 9 5	0, 9 5	1,0 09
"B_ZORRITOS _230kV	2 6 9	1, 0, 0, - 43,		0,0 0,0	10 0	0 0	99 -99			0,00 0,00	0,00 0,00	1,0 5	0,00 0,00	0 5	0, 1, 9 0	1, 0 5	0,9 98

		9	53														
		8	5														

ANEXO 5 DATOS DEL CONJUNTO DE LÍNEAS DEL SNI

k	i	j	T	R (p.u.)	X (p.u.)	Bshl (p.u.)	Plmax (MW)	a	fi	amax	amin
1	6	1	0	0,00105019	0,00483091	0,00064273	164,926	1	0	0	0
2	1	6	0	0,00105019	0,00483091	0,00064273	164,926	1	0	0	0
3	2	27	0	0,00249770	0,01501320	0,00197116	175,204	1	0	0	0
4	3	109	0	0,00330171	0,01918126	0,00256442	147,955	1	0	0	0
5	5	8	0	0,00024940	0,00120617	0,00116387	221,666	1	0	0	0
6	76	5	0	0,00480275	0,03842103	0,04014698	353,001	1	0	0	0
7	6	108	0	0,03443885	0,07250462	0,00850776	90,112	1	0	0	0
8	10	50	0	0,00334006	0,01030713	0,00178466	136,960	1	0	0	0
9	35	11	0	0,00460775	0,01894297	0,00247739	223,487	1	0	0	0
10	11	80	0	0,00460775	0,01894297	0,00247739	223,487	1	0	0	0
11	22	12	0	0,04724403	0,15606855	0,02099165	113,500	1	0	0	0
12	12	94	0	0,02261285	0,07470053	0,01004743	113,500	1	0	0	0
13	13	60	0	0,00262476	0,02099754	0,02194079	353,001	1	0	0	0
14	13	59	0	0,00173122	0,01384944	0,01447158	353,001	1	0	0	0
15	13	63	0	0,00045148	0,00423130	0,00403287	332,003	1	0	0	0
16	13	63	0	0,00045148	0,00423130	0,00403287	332,003	1	0	0	0
17	63	13	0	0,00045148	0,00423130	0,00403287	332,003	1	0	0	0
18	63	13	0	0,00045148	0,00423130	0,00403287	332,003	1	0	0	0
19	14	107	0	0,00161808	0,02886568	1,14785504	1887,935	1	0	0	0
20	21	102	0	0,00005030	0,00106359	0,05218785	2511,474	1	0	0	0
21	102	21	0	0,00005030	0,00106359	0,05218785	2511,474	1	0	0	0
22	43	66	0	0,05057188	0,22946709	0,03242240	175,204	1	0	0	0
23	43	99	0	0,03739376	0,11455804	0,01407523	113,500	1	0	0	0
24	114	16	0	0,00488045	0,02021557	0,00249478	112,102	1	0	0	0
25	18	37	0	0,33116478	0,67726636	0,07784984	109,951	1	0	0	0
26	18	115	0	0,04450572	0,33160442	0,04368517	106,891	1	0	0	0
27	18	115	0	0,04450572	0,33160442	0,04368517	106,891	1	0	0	0
28	116	20	0	0,00667711	0,02736804	0,00347918	112,102	1	0	0	0
29	22	71	0	0,06821323	0,22869918	0,03014499	113,500	1	0	0	0
30	22	71	0	0,06821323	0,22869918	0,03014499	113,500	1	0	0	0
31	23	19	0	0,00575352	0,05215837	0,00644135	199,106	1	0	0	0
32	53	24	0	0,00478823	0,03830487	0,04002560	353,001	1	0	0	0
33	53	25	0	0,00487419	0,02548187	0,04711816	493,184	1	0	0	0
34	25	104	0	0,00967599	0,07114526	0,15107663	572,062	1	0	0	0
35	32	104	0	0,01176842	0,08653042	0,18374695	572,062	1	0	0	0
36	31	9	0	0,00220540	0,01302247	0,00188536	147,955	1	0	0	0
37	9	31	0	0,00220540	0,01302247	0,00188536	147,955	1	0	0	0
38	53	32	0	0,00602330	0,04428792	0,09404520	572,062	1	0	0	0
39	34	100	0	0,01557600	0,14598000	0,13913415	332,003	1	0	0	0
40	34	100	0	0,01557600	0,14598000	0,13913415	332,003	1	0	0	0
41	33	99	0	0,11578299	0,38818678	0,05116716	113,500	1	0	0	0
42	33	78	0	0,05534846	0,18556732	0,02445975	113,500	1	0	0	0

43	108	36	0	0,00679746	0,01687908	0,00200738	109,951	1	0	0	0
44	113	39	0	0,03082183	0,12556948	0,01604721	112,102	1	0	0	0
45	28	77	0	0,00448771	0,01504600	0,00198322	113,500	1	0	0	0
46	102	30	0	0,00076353	0,01617914	0,78196466	2511,474	1	0	0	0
47	30	102	0	0,00076353	0,01617914	0,78196466	2511,474	1	0	0	0
48	29	90	0	0,00236582	0,02188788	0,03887515	572,062	1	0	0	0
49	90	29	0	0,00236582	0,02188788	0,03887515	572,062	1	0	0	0
50	28	103	0	0,00448771	0,01504600	0,00198322	113,500	1	0	0	0
51	40	95	0	0,00217143	0,01818944	0,03474763	517,883	1	0	0	0
52	40	95	0	0,00217143	0,01818944	0,03474763	517,883	1	0	0	0
53	42	98	0	0,06426433	0,20993015	0,02742457	113,058	1	0	0	0
54	42	98	0	0,06426433	0,20993015	0,02742457	113,058	1	0	0	0
55	42	26	0	0,01058338	0,02956049	0,00468539	99,912	1	0	0	0
56	42	26	0	0,01058338	0,02956049	0,00468539	99,912	1	0	0	0
57	42	72	0	0,05468336	0,12935445	0,02414061	113,500	1	0	0	0
58	45	15	0	0,05684121	0,14464849	0,01735744	90,112	1	0	0	0
59	58	117	0	0,00022338	0,00178702	0,00186730	341,803	1	0	0	0
60	57	117	0	0,00022338	0,00178702	0,00186730	341,803	1	0	0	0
61	51	46	0	0,06693691	0,12894730	0,01674640	109,951	1	0	0	0
62	52	4	0	0,03515375	0,11786032	0,01553525	113,500	1	0	0	0
63	52	4	0	0,03515375	0,11786032	0,01553525	113,500	1	0	0	0
64	53	93	0	0,00867418	0,07117822	0,14699161	572,062	1	0	0	0
65	53	93	0	0,00867418	0,07117822	0,14699161	572,062	1	0	0	0
66	117	53	0	0,01323803	0,10604122	0,11452153	341,803	1	0	0	0
67	117	53	0	0,01323803	0,10604122	0,11452153	341,803	1	0	0	0
68	55	10	0	0,00335083	0,01995058	0,00283112	137,916	1	0	0	0
69	56	73	0	0,01915144	0,11705576	0,01565384	147,955	1	0	0	0
70	59	112	0	0,00089353	0,00714810	0,00746921	353,001	1	0	0	0
71	60	32	0	0,00148691	0,01169016	0,02808663	584,013	1	0	0	0
72	61	105	0	0,00473283	0,01065953	0,00134650	113,058	1	0	0	0
73	24	63	0	0,00110463	0,00883684	0,00923381	353,001	1	0	0	0
74	62	42	0	0,06426433	0,20993015	0,02742457	113,058	1	0	0	0
75	62	42	0	0,06426433	0,20993015	0,02742457	113,058	1	0	0	0
76	53	63	0	0,00589286	0,04714170	0,04925941	353,001	1	0	0	0
77	65	63	0	0,02104610	0,16836451	0,17592777	341,803	1	0	0	0
78	62	67	0	0,01069996	0,03878395	0,00490281	125,965	1	0	0	0
79	62	67	0	0,01069996	0,03878395	0,00490281	125,965	1	0	0	0
80	62	86	0	0,01084247	0,04312722	0,00584065	125,965	1	0	0	0
81	62	86	0	0,01705737	0,04312722	0,00584065	125,965	1	0	0	0
82	75	22	0	0,03671388	0,11247516	0,01381932	113,500	1	0	0	0
83	64	18	0	0,05023251	0,17352143	0,02148899	113,500	1	0	0	0
84	64	18	0	0,05023251	0,17352143	0,02148899	113,500	1	0	0	0
85	17	69	0	0,00724105	0,04275710	0,00619025	147,955	1	0	0	0
86	69	39	0	0,03744172	0,15346566	0,01950943	112,102	1	0	0	0

87	70	29	0	0,00257801	0,02385095	0,04236176	572,062	1	0	0	0
88	70	29	0	0,00257801	0,02385095	0,04236176	572,062	1	0	0	0
89	41	70	0	0,01964546	0,19754358	0,19086444	419,485	1	0	0	0
90	41	70	0	0,01964546	0,19754358	0,19086444	419,485	1	0	0	0
91	41	70	0	0,01964505	0,19756563	0,19086367	423,071	1	0	0	0
92	41	70	0	0,01964505	0,19756563	0,19086367	423,071	1	0	0	0
93	68	69	0	0,00194754	0,00800656	0,00104711	223,487	1	0	0	0
94	69	81	0	0,00374417	0,01534657	0,00195094	112,102	1	0	0	0
95	69	91	0	0,00374417	0,01534657	0,00195094	112,102	1	0	0	0
96	70	90	0	0,00475361	0,04309325	0,04106359	332,003	1	0	0	0
97	70	90	0	0,00475361	0,04309325	0,04106359	332,003	1	0	0	0
98	73	3	0	0,01600245	0,06519466	0,00833158	112,102	1	0	0	0
99	74	61	0	0,07685886	0,16243699	0,01909651	90,112	1	0	0	0
100	13	76	0	0,01639078	0,13112293	0,13701323	331,844	1	0	0	0
101	13	76	0	0,01639078	0,13112293	0,13701323	331,844	1	0	0	0
102	75	22	0	0,03671388	0,11247516	0,01381932	113,500	1	0	0	0
103	76	84	0	0,01268373	0,10146724	0,10602536	331,844	1	0	0	0
104	76	84	0	0,01268373	0,10146724	0,10602536	331,844	1	0	0	0
105	43	78	0	0,03399433	0,10414367	0,01279566	113,500	1	0	0	0
106	110	79	0	0,00481325	0,03977643	0,03864830	342,002	1	0	0	0
107	68	82	0	0,00406243	0,01665103	0,00211677	112,102	1	0	0	0
108	69	82	0	0,00199689	0,00818484	0,00104050	112,102	1	0	0	0
109	91	39	0	0,03400956	0,13939796	0,01772107	112,102	1	0	0	0
110	97	87	0	0,00383282	0,01739119	0,01896047	297,185	1	0	0	0
111	110	88	0	0,00549195	0,03802980	0,04600713	365,705	1	0	0	0
112	110	88	0	0,00549195	0,03802980	0,04600713	365,705	1	0	0	0
113	83	55	0	0,01619061	0,06345043	0,00876900	136,960	1	0	0	0
114	71	83	0	0,00498173	0,01952321	0,00269823	109,951	1	0	0	0
115	84	85	0	0,00402405	0,03771380	0,03594518	332,003	1	0	0	0
116	84	85	0	0,00402405	0,03771380	0,03594518	332,003	1	0	0	0
117	93	48	0	0,00178130	0,01461696	0,03018578	572,062	1	0	0	0
118	93	48	0	0,00178130	0,01461696	0,03018578	572,062	1	0	0	0
119	52	92	0	0,08429420	0,28261399	0,03725154	113,500	1	0	0	0
120	52	92	0	0,08429420	0,28261399	0,03725154	113,500	1	0	0	0
121	93	54	0	0,00579070	0,05427108	0,05172599	332,003	1	0	0	0
122	92	106	0	0,00243018	0,02035695	0,00503992	310,730	1	0	0	0
123	101	40	0	0,00646707	0,05417291	0,10348748	517,883	1	0	0	0
124	101	40	0	0,00646707	0,05417291	0,10348748	517,883	1	0	0	0
125	92	47	0	0,01570699	0,05266099	0,00694128	113,500	1	0	0	0
126	92	47	0	0,00897543	0,03009200	0,00396645	113,500	1	0	0	0
127	89	16	0	0,00669497	0,02773162	0,00342232	115,448	1	0	0	0
128	89	27	0	0,02076217	0,07525626	0,00951341	112,998	1	0	0	0
129	89	35	0	0,00552930	0,02273157	0,00297286	223,487	1	0	0	0
130	89	56	0	0,05082882	0,24070501	0,03475279	157,994	1	0	0	0

131	90	100	0	0,00811945	0,07360590	0,07013912	332,003	1	0	0	0
132	90	100	0	0,00811945	0,07360590	0,07013912	332,003	1	0	0	0
133	89	80	0	0,01484924	0,06104689	0,00798379	223,487	1	0	0	0
134	114	89	0	0,00488343	0,01953371	0,00616340	199,202	1	0	0	0
135	5	100	0	0,00694723	0,05557647	0,05807307	353,001	1	0	0	0
136	49	100	0	0,00547438	0,05475421	0,07090980	517,883	1	0	0	0
137	49	100	0	0,00547438	0,05475421	0,07090980	517,883	1	0	0	0
138	76	100	0	0,01168297	0,09346138	0,09765986	353,001	1	0	0	0
139	80	17	0	0,00522212	0,02146870	0,00280770	223,487	1	0	0	0
140	80	68	0	0,01068961	0,04381444	0,00556994	112,102	1	0	0	0
141	104	97	0	0,00212429	0,02217374	0,04481740	723,443	1	0	0	0
142	104	97	0	0,00212429	0,02217374	0,04481740	723,443	1	0	0	0
143	103	77	0	0,00598362	0,02006133	0,00264430	113,500	1	0	0	0
144	104	7	0	0,01099251	0,10302307	0,09819172	332,003	1	0	0	0
145	7	104	0	0,01099251	0,10302307	0,09819172	332,003	1	0	0	0
146	104	65	0	0,00463590	0,03831078	0,03722422	342,002	1	0	0	0
147	104	65	0	0,00463590	0,03831078	0,03722422	342,002	1	0	0	0
148	79	104	0	0,01532203	0,12662038	0,12302920	342,002	1	0	0	0
149	110	104	0	0,02002528	0,16548774	0,16079420	342,002	1	0	0	0
150	105	45	0	0,09094594	0,23143759	0,02777191	90,112	1	0	0	0
151	30	107	0	0,00121356	0,02164926	0,86089128	1887,935	1	0	0	0
152	108	74	0	0,03529085	0,07429428	0,00871782	90,112	1	0	0	0
153	109	6	0	0,01690817	0,07902745	0,01055704	164,926	1	0	0	0
154	109	6	0	0,01724923	0,07934704	0,01055684	164,926	1	0	0	0
155	90	110	0	0,01235753	0,10212189	0,09922553	342,002	1	0	0	0
156	110	90	0	0,01235753	0,10212189	0,09922553	342,002	1	0	0	0
157	112	32	0	0,00057353	0,00436905	0,01049703	493,981	1	0	0	0
158	86	111	0	0,00646155	0,02714188	0,00372400	125,965	1	0	0	0
159	86	111	0	0,00685449	0,02714188	0,00372400	125,965	1	0	0	0
160	20	114	0	0,00095745	0,00575506	0,00075561	175,204	1	0	0	0
161	69	114	0	0,01273018	0,05217832	0,00663321	112,102	1	0	0	0
162	82	114	0	0,01248057	0,05115522	0,00650314	112,102	1	0	0	0
163	114	38	0	0,00430057	0,01768011	0,00231223	223,487	1	0	0	0
164	115	23	0	0,01093168	0,09910090	0,01223856	205,198	1	0	0	0
165	115	23	0	0,01093168	0,09910090	0,01223856	205,198	1	0	0	0
166	19	23	0	0,00575352	0,05215837	0,00644135	199,106	1	0	0	0
167	115	44	0	0,01155807	0,03540885	0,00435053	113,500	1	0	0	0
168	115	44	0	0,01155807	0,03540885	0,00435053	99,912	1	0	0	0
169	69	116	0	0,00124806	0,00511552	0,00065031	112,102	1	0	0	0
170	65	117	0	0,00164461	0,01317391	0,01422746	353,001	1	0	0	0
171	65	117	0	0,00164461	0,01317391	0,01422746	353,001	1	0	0	0
172	65	63	0	0,02104610	0,16836451	0,17592777	341,803	1	0	0	0
173	117	96	0	0,00491493	0,04865785	0,04676360	331,844	1	0	0	0
174	117	96	0	0,00491493	0,04865785	0,04676360	331,844	1	0	0	0

175	118	48	0	0,01050178	0,09842382	0,09380816	332,003	1	0	0	0
176	48	118	0	0,01050178	0,09842382	0,09380816	332,003	1	0	0	0
177	93	54	0	0,00579070	0,05427108	0,05172599	332,003	1	0	0	0
178	37	51	0	0,10233109	0,20135638	0,02508801	109,951	1	0	0	0
179	14	13	1	0,00032407	0,02684249	-0,00191813	450,000	1	0	1	1
180	32	31	1	0,00029024	0,04951026	-0,00034428	225,000	1	0	1	1
181	34	33	1	0,00039442	0,04407009	-0,00584047	167,000	1	0	1	1
182	29	28	1	0,00023500	0,03922129	-0,00448852	300,000	1	0	1	1
183	29	28	1	0,00023500	0,03922129	-0,00448852	300,000	1	0	1	1
184	30	29	1	0,00020301	0,01934893	-0,00115320	600,000	1	0	1	1
185	53	52	1	0,00087303	0,04990347	-0,00041749	225,000	1	0	1	1
186	63	62	1	0,00014116	0,01949282	-0,00380608	375,000	1	0	1	1
187	63	62	1	0,00014116	0,01949282	-0,00380608	375,000	1	0	1	1
188	65	64	1	0,00014059	0,01957283	-0,00418176	375,000	1	0	1	1
189	65	64	1	0,00014059	0,01957283	-0,00418176	375,000	1	0	1	1
190	70	69	1	0,00061352	0,03936189	-0,00131505	300,000	1	0	1	1
191	70	69	1	0,00061352	0,03936189	-0,00131505	300,000	1	0	1	1
192	76	75	1	0,00066730	0,05094802	-0,00082411	168,000	1	0	1	1
193	84	83	1	0,00023753	0,04968832	-0,00039346	225,000	1	0	1	1
194	93	92	1	0,00024448	0,03182128	-0,00310258	225,000	1	0	1	1
195	102	101	1	0,00000000	0,02597778	0,00000000	450,000	1	0	1	1
196	90	89	1	0,00014308	0,01970615	-0,00433221	375,000	1	0	1	1
197	100	99	1	0,00845807	0,04334414	-0,00454706	167,000	1	0	1	1
198	100	99	1	0,00976762	0,04394554	-0,00601121	167,000	1	0	1	1
199	110	109	1	0,00043563	0,08546889	-0,00047862	100,000	1	0	1	1
200	112	111	1	0,00041778	0,05229433	-0,00335967	225,000	1	0	1	1

ANEXO 6 VARIACIÓN DE DEMANDA PARA EL ANÁLISIS DEL SNI

N°	BARRA	DEMANDA BASE		DEMANDA MINIMA		DEMANDA MAXIMA	
		Pd (MW)	Qd (MVar)	Pd (MW)	Qd (MVar)	Pd (MW)	Qd (MVar)

1	B_AGOYAN_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
2	B_ALANGASI_138kV	15,415	4,496	7,708	2,248	19,26875	5,62
3	B_AMBATO_138kV	63,651	30,828	31,826	15,414	79,56375	38,535
4	B_BABAHOYO_138kV	113,52	33,11	56,760	16,555	141,9	41,3875
5	B_BABA_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
6	B_BAÑOS_138kV	15,291	4,46	7,646	2,230	19,11375	5,575
7	B_BOMBAIZA_230kV	84,886	24,758	42,443	12,379	106,1075	30,9475
8	B_Baba_Central_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
9	B_CARAGUAY_138kV	121,46	35,426	60,730	17,713	151,825	44,2825
10	B_CEELEC_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
11	B_CHILIBULO_138kV	37,375	10,901	18,688	5,451	46,71875	13,62625
12	B_CHONE_138kV	61,412	17,912	30,706	8,956	76,765	22,39
13	B_CHORRILLOS_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
14	B_CHORRILLOS_500kV	0	0	0,000	0,000	0	0
15	B_COCA_138kV	17,952	5,236	8,976	2,618	22,44	6,545
16	B_CONOCOTO_138kV	30,817	7,723	15,409	3,862	38,52125	9,65375
17	B_COTOCOLLAO_138kV	58,226	16,983	29,113	8,492	72,7825	21,22875
18	B_CUENCA_138kV	75	21,875	37,500	10,938	93,75	27,34375
19	B_CUMBARATZA_138kV	17,714	5,167	8,857	2,584	22,1425	6,45875
20	B_CUMBAYA_138kV	37,701	10,996	18,851	5,498	47,12625	13,745
21	B_Coca_Codo_sinclair_500kV	0	0	0,000	0,000	0	0
22	B_D.PERIPA_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
23	B_DELSITANISAGUA_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
24	B_DOSCERRITOS_230kV	71,106	20,739	35,553	10,370	88,8825	25,92375
25	B_DURAN_230kV	194,343	56,683	97,172	28,342	242,92875	70,85375
26	B_ELECTROQUIL_138kV	72,175	21,051	36,088	10,526	90,21875	26,31375
27	B_EL_CARMEN_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
28	B_EL_INGA_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
29	B_EL_INGA_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
30	B_EL_INGA_500kV	0	0	0,000	0,000	0	0
31	B_ESCLUSAS_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
32	B_ESCLUSAS_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
33	B_ESMERALDAS_138kV	89,11	25,99	44,555	12,995	111,3875	32,4875
34	B_ESMERALDAS_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
35	B_ESPEJO_138kV	32,319	9,426	16,160	4,713	40,39875	11,7825
36	B_GTOPO_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0

37	B_GUALACEO_138kV	13,02	3,798	6,510	1,899	16,275	4,7475
38	B_GUANGOPOLO_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
39	B_IBARRA_138kV	58,87	17,17	29,435	8,585	73,5875	21,4625
40	B_JIVINO_230kV	68,847	20,08	34,424	10,040	86,05875	25,1
41	B_Jamondino_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
42	B_LAGOCHONGON_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
43	B_LA_CONCORDIA_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
44	B_LOJA_138kV	58,192	16,973	29,096	8,487	72,74	21,21625
45	B_LORETO_138kV	22,478	6,556	11,239	3,278	28,0975	8,195
46	B_MACAS_138kV	11,161	3,255	5,581	1,628	13,95125	4,06875
47	B_MACHALA_138kV	70,364	20,523	35,182	10,262	87,955	25,65375
48	B_MACHALA_230kV	70,364	20,523	35,182	10,262	87,955	25,65375
49	B_MANDURYACO_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
50	B_MANTA2_138kV	24,443	7,223	12,222	3,612	30,55375	9,02875
51	B_MENDEZ_138kV	4,19	1,222	2,095	0,611	5,2375	1,5275
52	B_MILAGROS_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
53	B_MILAGROS_230kV	126,748	36,968	63,374	18,484	158,435	46,21
54	B_MINAS.F_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
55	B_MONTECRISTI_138kV	51,204	14,935	25,602	7,468	64,005	18,66875
56	B_MULALO_138kV	78,289	22,834	39,145	11,417	97,86125	28,5425
57	B_Mazar_U1	0	0	0,000	0,000	0	0
58	B_Mazar_U2	0	0	0,000	0,000	0	0
59	B_NUEVAPROSPERINA_230kV	124,65	36,356	62,325	18,178	155,8125	45,445
60	B_NUEVA_SALITRAL_230kV	130,2	37,975	65,100	18,988	162,75	47,46875
61	B_P.NAPO_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
62	B_PASCUALES_138kV	239,608	69,886	119,804	34,943	299,51	87,3575
63	B_PASCUALES_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
64	B_PAUTE_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
65	B_PAUTE_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
66	B_PEDERNALES_138kV	26,35	7,685	13,175	3,843	32,9375	9,60625
67	B_POLICENTRO_138kV	129,736	37,84	64,868	18,920	162,17	47,3
68	B_POMASQUIEQ_138kV	46,738	13,632	23,369	6,816	58,4225	17,04
69	B_POMASQUI_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
70	B_POMASQUI_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
71	B_PORTOVIEJO_138kV	89,501	26,104	44,751	13,052	111,87625	32,63
72	B_POSORJA_138kV	58,021	16,923	29,011	8,462	72,52625	21,15375

73	B_PUCARA_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
74	B_PUYO_138kV	16,935	4,939	8,468	2,470	21,16875	6,17375
75	B_QUEVEDO_138kV	76,503	22,313	38,252	11,157	95,62875	27,89125
76	B_QUEVEDO_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
77	B_QUINCHE_138kV	17,66	5,151	8,830	2,576	22,075	6,43875
78	B_QUININDE_138kV	14,946	4,359	7,473	2,180	18,6825	5,44875
79	B_RIOBAMBA_230kV	110,425	28,078	55,213	14,039	138,03125	35,0975
80	B_S.ALEGRE_138kV	36	10,5	18,000	5,250	45	13,125
81	B_S.ANTONIO_138kV	24,2	7,058	12,100	3,529	30,25	8,8225
82	B_S.E.18_138kV	35,852	10,457	17,926	5,229	44,815	13,07125
83	B_S.GREGORIO_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
84	B_S.GREGORIO_230kV	62,707	18,29	31,354	9,145	78,38375	22,8625
85	B_S.JUAN_230kV	80,775	23,559	40,388	11,780	100,96875	29,44875
86	B_SALITRAL_138kV	194,1	56,613	97,050	28,307	242,625	70,76625
87	B_SANBARTOLO_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
88	B_SANFRANCISCO_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
89	B_SANTAROSA_138kV	65,291	19,043	32,646	9,522	81,61375	23,80375
90	B_SANTAROSA_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
91	B_SAN_ANTONIO_138kV	24,2	7,058	12,100	3,529	30,25	8,8225
92	B_SAN_IDELFONSO_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
93	B_SAN_IDELFONSO_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
94	B_SEVERINO_138kV	10	2,917	5,000	1,459	12,5	3,64625
95	B_SHUSHUFINDI_230kV	162	78,46	81,000	39,230	202,5	98,075
96	B_SININCAY_230kV	66,2	19,308	33,100	9,654	82,75	24,135
97	B_SOPLADORA_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
98	B_STA.ELENA_138kV	99,924	29,145	49,962	14,573	124,905	36,43125
99	B_STO.DOMINGO_138kV	108,56	31,663	54,280	15,832	135,7	39,57875
100	B_STO.DOMINGO_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
101	B_San_Rafael_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
102	B_San_Rafael_500kV	0	0	0,000	0,000	0	0
103	B_TABABELA_138kV	20,24	5,903	10,120	2,952	25,3	7,37875
104	B_TADAY_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
105	B_TENA_138kV	17,409	5,078	8,705	2,539	21,76125	6,3475
106	B_TGASMACHALA_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0
107	B_TISALEO_500kV	0	0	0,000	0,000	0	0
108	B_TOPO_138kV	0	0	0,000	0,000	0	0

109	B_TOTORAS_138kV	50,42	24,42	25,210	12,210	63,025	30,525
110	B_TOTORAS_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
111	B_TRINITARIA_138kV	99,387	28,988	49,694	14,494	124,23375	36,235
112	B_TRINITARIA_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
113	B_TULCAN_138kV	19,281	5,624	9,641	2,812	24,10125	7,03
114	B_VICENTINA_138KV	39,415	11,496	19,708	5,748	49,26875	14,37
115	B_YANACOCHA_138kV	51,809	15,111	25,905	7,556	64,76125	18,88875
116	B_ZAMBISA_138kV	11,408	3,327	5,704	1,664	14,26	4,15875
117	B_ZHORAY_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0
118	B_ZORRITOS_230kV	0	0	0,000	0,000	0	0

ANEXO 7 COMPENSACIÓN INSTALADA EN EL SISTEMA SNI REDUCIDO

BARRA	COMPENSACIÓN INSTALADA (MVAR)
B_CARAGUAY_138kV	24
B_ESCLUSAS_138kV	30
B_ESCLUSAS_230kV	120
B_LOJA_138kV	12
B_MACHALA_138kV	12
B_MILAGROS_230kV	12

B_NUEVAPROSPERINA_230kV	120
B_PASCUALES_138kV	60
B_PASCUALES_138kV	60
B_POLICENTRO_138kV	12
B_PORTOVIEJO_138kV	12
B_POSORJA_138kV	12
B_S.GREGORIO_230kV	30
B_STA.ELENA_138kV	12
B_SANTAROSA_138kV	120
B_San_Rafael_230kV	-25
B_CHORRILLOS_500kV	-240
B_EL_INGA_500kV	-90
B_EL_INGA_500kV	-90
B_JIVINO_230kV	-25
B_POMASQUI_230kV	-25
B_San_Rafael_500kV	-60
B_TISALEO_500kV	-180

ANEXO 8 PERFILES DE VOLTAJE DE MÁXIMA Y MINIMA DEMANDA

N°	Barra	MAXIMA		MINIMA	
		V inicial (p.u.)	V OPF (p.u.)	V inicial (p.u.)	V OPF (p.u.)
1	B_AGOYAN_138kV	1,04	1,02	1,04	1,03
2	B_ALANGASI_138kV	1,023163	1,028	1,03952	1,029
3	B_AMBATO_138kV	1,018377	1,03	1,023501	1,03
4	B_BABAHOYO_138kV	0,971962	1,03	1,030011	1,03
5	B_BABA_230kV	1,03692	1,0004	1,038923	1
6	B_BAÑOS_138kV	1,039273	1,021	1,038909	1,029
7	B_BOMBAIZA_230kV	1,040526	1,009	1,042858	1,025
8	B_Baba_Central_230kV	1,036922	1	1,038744	1

9	B_CARAGUAY_138kV	1,013433	1,048	1,021743	1,002
10	B_CELEC_138kV	1	1	1	1
11	B_CHILIBULO_138kV	1,009958	1,0125	1,029943	1,02
12	B_CHONE_138kV	0,9497685	0,95	1,012433	0,99
13	B_CHORRILLOS_230kV	1,010918	1,035	1,027373	1
14	B_CHORRILLOS_500kV	1,000534	1,044	1,016525	0,9694
15	B_COCA_138kV	0,9995435	1,03	1,04	1,03
16	B_CONOCOTO_138kV	1,022617	1,02	1,034748	1,027
17	B_COTOCOLLAO_138kV	1,008148	1,007	1,027422	1,022
18	B_CUENCA_138kV	1,034588	1,03	1,042473	1,03
19	B_CUMBARATZA_138kV	1,038099	1,027	1,039454	1,029
20	B_CUMBAYA_138kV	1,020422	1,02	1,033367	1,026
21	B_Coca_Codo_sinclair_500kV	1	1,03	1	1,03
22	B_D.PERIPA_138kV	1,04	1,03	1,04	1,03
23	B_DELSITANISAGUA_138kV	1,04	1,03	1,04	1,03
24	B_DOSCERRITOS_230kV	1,011359	1,03	1,030053	1,014
25	B_DURAN_230kV	1,019667	1,009	1,034912	1,035
26	B_ELECTROQUIL_138kV	0,9568821	1,03	1,04	1,03
27	B_EL_CARMEN_138kV	1,024431	1,03	1,04	1,03
28	B_EL_INGA_138kV	1,014486	1,03	1,022654	1,03
29	B_EL_INGA_230kV	1,017025	1,03	1,022547	1,031
30	B_EL_INGA_500kV	1,008353	1,035	1,01496	1,029
31	B_ESCLUSAS_138kV	1,014204	1,05	1,023509	1,004
32	B_ESCLUSAS_230kV	1,017811	1,04	1,032388	1,013
33	B_ESMERALDAS_138kV	1,04	1,03	1,04	1,03
34	B_ESMERALDAS_230kV	1,048177	1,03	1,049597	1,031
35	B_ESPEJO_138kV	1,014686	1,018	1,0324	1,025
36	B_GTOPO_138kV	1,04	1,03	1,04	1,03
37	B_GUALACEO_138kV	1,022666	1,01	1,079308	1,029
38	B_GUANGOPOLO_138kV	1,04	1,03	1,04	1,03
39	B_IBARRA_138kV	0,9728519	0,972	1,018487	1,011
40	B_JIVINO_230kV	0,9367721	0,96	0,9992011	0,966
41	B_Jamondino_230kV	1,04	1,05	1,06	1,05
42	B_LAGOCHONGON_138kV	0,9658845	1,021	1,040437	1,028
43	B_LA_CONCORDIA_138kV	1,007614	0,991	1,034586	1,012
44	B_LOJA_138kV	1,022735	1,03	1,04	1,03
45	B_LORETO_138kV	0,9885761	1,0131	1,037337	1,0244
46	B_MACAS_138kV	1,04	1,03	1,077524	1,03
47	B_MACHALA_138kV	1,04	1,03	1,048504	1,03
48	B_MACHALA_230kV	1,046601	1,034	1,053002	1,037
49	B_MANDURYACO_230kV	1,04	1,03	1,04	1,03
50	B_MANTA2_138kV	0,9980593	0,998	0,9992367	0,999
51	B_MENDEZ_138kV	1,033125	1,02	1,079722	1,03
52	B_MILAGROS_138kV	1,011791	1,046	1,040661	1,04

53	B_MILAGROS_230kV	1,02301	1,03	1,039154	1,03
54	B_MINAS.F_230kV	1,04	1,03	1,04	1,03
55	B_MONTECRISTI_138kV	0,9999393	1	1,001033	1
56	B_MULALO_138kV	0,9827956	1,03	1,022717	1,03
57	B_Mazar_U1	1,04	1,03	1,04	1,03
58	B_Mazar_U2	1,04	1,03	1,04	1,03
59	B_NUEVAPROSPERINA_230kV	1,013192	1,048	1,032951	1,01
60	B_NUEVA_SALITRAL_230kV	1,012591	1,033	1,028905	1,009
61	B_P.NAPO_138kV	1,012385	1,03	1,04	1,03
62	B_PASCUALES_138kV	1,010498	1,03	1,04	1,03
63	B_PASCUALES_230kV	1,011496	1,03	1,029052	1,011
64	B_PAUTE_138kV	1,04	1,03	1,04	1,03
65	B_PAUTE_230kV	1,04	1,03	1,04	1,03
66	B_PEDERNALES_138kV	0,9722981	0,951	1,026734	1
67	B_POLICENTRO_138kV	1,00176	1,012	1,035645	1,025
68	B_POMASQUIEQ_138kV	1,011844	1,013	1,029075	1,024
69	B_POMASQUI_138kV	1,013583	1,015	1,029718	1,025
70	B_POMASQUI_230kV	1,021411	1,028	1,033493	1,032
71	B_PORTOVIEJO_138kV	1,01565	0,978	1,020344	0,988
72	B_POSORJA_138kV	0,9265475	0,965	1,024778	1,002
73	B_PUCARA_138kV	1,02	1,01	1,02	1,01
74	B_PUYO_138kV	1,019833	1,016	1,037865	1,026
75	B_QUEVEDO_138kV	1,035184	1	1,026932	1
76	B_QUEVEDO_230kV	1,034546	1	1,040871	1
77	B_QUINCHE_138kV	1,012532	1,028	1,021924	1,0292
78	B_QUININDE_138kV	1,013328	0,998	1,035847	1,016
79	B_RIOBAMBA_230kV	1,029984	1,015	1,028926	1,0144
80	B_S.ALEGRE_138kV	1,009847	1,011	1,029248	1,0237
81	B_S.ANTONIO_138kV	1,011145	1,013	1,028781	1,024
82	B_S.E.18_138kV	1,012832	1,0143	1,029548	1,025
83	B_S.GREGORIO_138kV	1,017294	0,982	1,018397	0,986
84	B_S.GREGORIO_230kV	1,029179	0,9744	1,041593	0,992
85	B_S.JUAN_230kV	1,02491	0,967	1,040061	0,99
86	B_SALITRAL_138kV	1,04	1,03	1,04	1,03
87	B_SANBARTOLO_230kV	1,04	1,03	1,04	1,03
88	B_SANFRANCISCO_230kV	1,04	1,03	1,04	1,03
89	B_SANTAROSA_138kV	1,02524	1,03	1,037198	1,03
90	B_SANTAROSA_230kV	1,023558	1,027	1,031487	1,03
91	B_SAN_ANTONIO_138kV	1,007345	1,008	1,027973	1,023
92	B_SAN_IDELFONSO_138kV	1,040779	1,032	1,049215	1,032
93	B_SAN_IDELFONSO_230kV	1,043996	1,034	1,051068	1,035
94	B_SEVERINO_138kV	0,9445568	0,951	1,010989	0,996
95	B_SHUSHUFINDI_230kV	0,9321724	0,95	0,9989871	0,955
96	B_SININCAY_230kV	1,04	1,03	1,04	1,03

97	B_SOPLADORA_230kV	1,04	1,03	1,04	1,03
98	B_STA.ELENA_138kV	1,006262	1	1,04	1,03
99	B_STO.DOMINGO_138kV	1,018051	1,006	1,032296	1,0146
100	B_STO.DOMINGO_230kV	1,03776	1,018	1,041531	1,027
101	B_San_Rafael_230kV	0,9768065	1	0,9982172	1
102	B_San_Rafael_500kV	1,000356	1,03	1,001268	1,0299
103	B_TABABELA_138kV	1,012418	1,027	1,021879	1,029
104	B_TADAY_230kV	1,041442	1,027	1,04088	1,028
105	B_TENA_138kV	1,009658	1,027	1,039539	1,029
106	B_TGASMACHALA_138kV	1,04	1,03	1,048324	1,03
107	B_TISALEO_500kV	1,008679	1,049	1,015955	1,008
108	B_TOPO_138kV	1,036598	1,025	1,039814	1,029
109	B_TOTORAS_138kV	1,025702	1,0315	1,026141	1,025
110	B_TOTORAS_230kV	1,034335	1,03	1,034554	1,024
111	B_TRINITARIA_138kV	1,04	1,03	1,04	1,03
112	B_TRINITARIA_230kV	1,017342	1,04	1,033112	1,012
113	B_TULCAN_138kV	0,9573441	0,955	1,014053	1,006
114	B_VICENTINA_138KV	1,022845	1,022	1,034328	1,0273
115	B_YANACOCHA_138kV	1,026501	1,03	1,040157	1,0297
116	B_ZAMBISA_138kV	1,014353	1,015	1,030172	1,025
117	B_ZHORAY_230kV	1,04	1,03	1,040064	1,03
118	B_ZORRITOS_230kV	1,06	1,05	1,06	1,05

ANEXO 9 DESPACHO DE GENERADORES A DEMANDA MÁXIMA

Barra de generación	Despacho inicial		Despacho máxima demanda	
	Pg0 (MW)	Qg0 (MVar)	Pg (MW)	Qg (MVar)
B_AGOYAN_138kV	127,8	19,879	103,95	-65,3
B_AMBATO_138kV	4,8	9	15	12
B_CELEC_138kV	112	-4,481	103,07	-2,81
B_COCA_138kV	16	12,5	19,91	18,74
B_CUENCA_138kV	52,032	25,53	59,33	30,69
B_Coca_Codo_sinclair_500kV	2189,944	-114,433	1185,52	-37,44
B_D.PERIPA_138kV	170,64	81,774	197,37	98,43
B_DELSITANISAGUA_138kV	144	10,083	129,63	-11,28
B_EL_CARMEN_138kV	7,04	6,6	5,65	8,8
B_ESMERALDAS_138kV	186,11	26,2	273,76	31,94

B_GTOPO_138kV	21,248	-1,5	0	24,94
B_GUANGOPOLO_138kV	112,2	76,368	96,56	24,25
B_LOJA_138kV	5,55	8,328	13,88	11,1
B_MACAS_138kV	27	-2,816	28,87	3,09
B_MACHALA_138kV	19,18	16,12	113,63	11,07
B_MANDURYACO_230kV	53,28	16,444	74	29,67
B_MINAS.F_230kV	0	-12,135	146,23	-34,39
B_Mazar_U1	68	7,27	0	0,78
B_Mazar_U2	68	7,27	0	0,78
B_P.NAPO_138kV	35,2512	16,492	2,52	35,53
B_PAUTE_138kV	377,5	-18,774	459,05	-10,41
B_PAUTE_230kV	173,6	-28,556	205,83	-62,81
B_PUCARA_138kV	53,2	18,887	26,63	-51,69
B_SALITRAL_138kV	276,07	145,501	405,99	20,58
B_SANBARTOLO_230kV	70,875	-17,22791	65,89	-15,14
B_SANFRANCISCO_230kV	0	27,884	251,4	-46,6
B_SANTAROSA_138kV	41,6	39	65	52
B_SININCAY_230kV	160	8,068	0	28,4
B_SOPLADORA_230kV	367,2	4,221	459,73	-5,26
B_STA.ELENA_138kV	34,96	82,5	54,63	37,15
B_San_Rafael_230kV	37,8	-22,224	55,56	4,11
B_TGASMACHALA_138kV	100	-2,311	161,2	-22,98
B_TRINITARIA_138kV	106,42	78,25	156,5	14,05
- B_BABAHOYO_138kV	14,52	7,695	17,1	6,84
- B_Baba_Central_230kV	15,484	-18,72	26,12	-37,44
- B_ELECTROQUIL_138kV	8	29,184	48,64	38,91
- B_EL_INGA_138kV	8,64	4,8	12	9,6
- B_MILAGROS_230kV	0	14,22	47,4	37,92
- B_MONTECRISTI_138kV	36,72	19,743	54	43,2
- B_MULALO_138kV	2,2	12	20	16
- B_PASCUALES_138kV	105,4	62	155	124
- B_QUEVEDO_138kV	6,864	-8,266	4,58	-16,53
- B_QUEVEDO_230kV	20	-15,952	53,17	-42,54

ANEXO 10 DESPACHO DE GENERADORES A DEMANDA MINIMA

Barra de generación	Despacho inicial		Despacho mínima demanda	
	Pg inicial	Qg inicial	Pg OPF	Qg OPF
B_AGOYAN_138kV	63,89995	-50,99998	169,12	-28,37
B_AMBATO_138kV	4,799927	-2,999182	15	12
B_BABAHOYO_138kV	7,26	-4,275	0	6,84
B_Baba_Central_230kV	7,742	-18,72	0	-9,45
B_CEELEC_138kV	112	-25,93048	128,33	-14,78
B_COCA_138kV	16,00001	-0,06902569	0	9,28

B_CUENCA_138kV	52,032	-16,26	0	29,41
B_Coca_Codo_sincleir_500kV	277,1722	-460,7645	756,61	16,93
B_D.PERIPA_138kV	56,88002	-40,27223	237	39,69
B_DELSITANISAGUA_138kV	48	-34,89487	0	1,6
B_ELECTROQUIL_138kV	0,9999992	-9,728001	0	37,17
B_EL_CARMEN_138kV	7,04	-2,2	0	3,69
B_EL_INGA_138kV	8,639999	-1,799998	32	-2,42
B_ESMERALDAS_138kV	186,11	-52,0649	273,76	-0,02
B_GTOPO_138kV	10,62399	-19,92	0	4,14
B_GUANGOPOLO_138kV	112,2	-33	148,38	-18,51
B_LOJA_138kV	5,55	-4,858	0	11,1
B_MACAS_138kV	5,4	-7,127626	0	3,67
B_MACHALA_138kV	19,18	-16,12	0	4,52
B_MANDURYACO_230kV	26,64	-29,6	74	16,85
B_MILAGROS_230kV	-0,00000031	-9,480001	0	37,92
B_MINAS.F_230kV	-0,00000503	-92	0	-26,35
B_MONTECRISTI_138kV	4,08	-21,6	46,7	20,29
B_MULALO_138kV	2,200001	11,99999	0	16
B_Mazar_U1	68,00003	-71,90719	0	-7,48
B_Mazar_U2	68,00003	-71,90719	0	-7,48
B_P.NAPO_138kV	8,812956	-10,10473	0	12,02
B_PASCUALES_138kV	105,3997	-30,9996	0	124
B_PAUTE_138kV	75,50003	-52,37461	0	-29,81
B_PAUTE_230kV	86,80001	-51,08	0	22,65
B_PUCARA_138kV	26,59997	-15,99999	0	-17,05
B_QUEVEDO_138kV	3,432	-8,266401	37,04	15,5
B_QUEVEDO_230kV	0,7999997	-15,9525	0	-9,55
B_SALITRAL_138kV	276,0703	-95,22343	0	58,05
B_SANBARTOLO_230kV	70,875	-17,22791	0	-1,01
B_SANFRANCISCO_230kV	-0,00000848	-100,56	251,4	-6,83
B_SANTAROSA_138kV	41,6	-13	21,29	52
B_SININCAY_230kV	80	-9,588337	0	7,62
B_SOPLADORA_230kV	122,4001	-144,4182	0	8,26
B_STA.ELENA_138kV	34,96005	-45,23038	0	30,48
B_San_Rafael_230kV	12,6	-22,224	0	-11,22
B_TGASMACHALA_138kV	20	-16,12	0	-15,09

