



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

**ESTUDIO DESCRIPTIVO TECNICO Y ECONOMICO PARA EL
MEJORAMIENTO DEL ALIMENTADOR PIEDRA COLGADA ANTE UN
AUMENTO DE DEMANDA**

Proyecto de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título
de Ingeniero de Ejecución en Electricidad

Profesor Guía: Juan Astorga Gómez

Domingo Andrés Aravena Figueroa

Blas Leonardo Porcile Naveas

Copiapó, Chile 2025

DEDICATORIA

A mi hija, a mi pareja, a mis padres y a mi familia.

Blas Porcile Naveas

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer y dedicar este trabajo a mi familia, quienes son el soporte más importante para continuar con este nuevo proceso de estudio que está llegando a su etapa final.

También quiero agradecer a la Universidad de Atacama y en especial a los docentes que me han guiado y formado para ser un profesional con herramientas para enfrentar cualquier tipo de desafío.

Blas Porcile Naveas

INDICE DE CONTENIDOS

Capítulo 1 Marco Introductorio	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes Generales.....	2
1.3 Objetivos del Proyecto	2
1.3.1 Objetivos Generales.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Planteamiento del Problema.....	2
1.5 Alcance del Proyecto.....	3
1.6 Metodología.....	3
Capítulo 2 Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución ...	4
2.1 Descripción General de la Norma	4
2.2 Calidad Comercial (Cap. 5 NT)	4
2.2.1 Conexión y Ampliación de Servicios (Tít. 5-1 NT)	4
2.2.1.1 Generalidades (Art. 5-1 NT).....	4
2.2.1.2 Solicitud para la Conexión o Ampliación de Servicios (Art. 5-2 NT)	5
2.2.1.3 Procedimiento para la Conexión o Ampliación de Servicios (Art. 5-3 NT)....	5
2.2.1.4 Plazos para la Conexión o Ampliación de Servicios (Art. 5-4 NT)	8
2.3 Calidad de Producto (Cap. 3 NT).....	10
2.3.1 Regulación de Voltaje (Art. 3-1 NT).....	10
Capítulo 3 Glosario Técnico	11
3.1 Sistemas de Distribución de Media Tensión	11
3.2 Regulador de Tensión en Distribución.....	12
3.3 Alimentador de Línea de Distribución y Demanda del Alimentador.....	14
3.4 Perdidas Técnicas	14
Capítulo 4 Estudio de Factibilidad	15
4.1 Solicitud de Conexión Empresa Desalinizadora	15
4.2 Estudio de Factibilidad Empresa de Distribución	16
4.2.1 Caso Base: Sin Instalación Nueva	18
4.2.2 Caso 2: Con Nueva Bomba de 1,16 MW Sin Inversión	18
4.2.3 Caso 3: Nueva Bomba de 1,16 MW e Instalación de Regulador de Voltaje.	19

4.2.4	Caso 4: Con Nueva Bomba 1,16 MW y Reforzamiento de Alimentador.....	20
Capítulo 5 Metodología para la Implementación de Soluciones.....		22
5.1	Etapa I: Evaluación de Norma Técnica y Disponibilidad	22
5.2	Etapa II: Regulador de Tensión.....	23
5.2.1	Características del Regulador de Tensión.....	23
5.2.2	Parámetros y Configuraciones del Regulador de Tensión.....	25
5.2.3	Pruebas de Relación de Transformación por TAP.....	27
5.2.4	Pruebas de Resistencia de Aislamiento	30
5.2.5	Respaldo Fotográfico de Pruebas, Inspecciones e Instalación	31
5.2.6	Resultados con Regulador de Tensión.....	33
5.3	Etapa III: Reforzamiento de Línea de Distribución	33
5.3.1	Características de la Línea de Reforzamiento.....	33
5.3.2	Obras Adicionales.....	35
5.3.3	Permisos Adicionales.....	36
5.3.4	Evaluación Económica del Proyecto de Reforzamiento de la Línea	36
5.3.5	Resultados con Reforzamiento de Línea	37
5.4	Etapa IV: Regulador de Voltaje y Reforzamiento de Línea de Distribución	38
5.4.1	Resultados.....	38
Capítulo 6 Análisis de Técnico - Económico.....		39
6.1	Caso Base	39
6.2	Caso con Regulador de Voltaje	39
6.3	Caso con Reforzamiento de la Línea de Distribución.....	39
6.4	Caso con Regulador de Tensión y Reforzamiento de la Línea de Distribución	40
Capítulo 7 Conclusiones		41
Bibliografía		42

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Diagrama de Sistema de Distribución Rural	12
Figura 3.2: Regulador de Tensión para Distribución en 23KV	13
Figura 4.1: Evaluación de Factibilidad con Regulador de Tensión	20
Figura 4.2: Evaluación de Factibilidad con Reforzamiento de Alimentador.....	21
Figura 5.1: Placa Característica Regulador de Voltaje	23
Figura 5.2: Pruebas en Terreno con regulador de Tensión	31
Figura 5.3: Estado de Caja de Control Regulador de Tensión.....	31
Figura 5.4: Regulador de Tensión Instalado	32
Figura 5.5: Referencia Reforzamiento Alimentador Piedra Colgada	34
Figura 5.6: Reforzamiento de Alimentador, Proyección de Líneas	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Plazos Máximos para la Conexión o Ampliación de Servicios de los Clientes (Tabla 20 de la NT).....	9
Tabla 2.2: Límites de Regulación de Voltaje según NTCSSD	11
Tabla 4.1: Solicitud de Factibilidad Empresa Desalinizadora	15
Tabla 4.2: Mediciones y Factores en Proyecto para Grandes Clientes	16
Tabla 4.3: Análisis de Factibilidad Técnico - Económico	17
Tabla 5.1: Parámetros y Configuraciones Regulador de Tensión.....	25
Tabla 5.2: Pruebas de Ajuste y Relación de Transformación con Regulador en Fase 1..	27
Tabla 5.3: Pruebas de Ajuste y Relación de Transformación con Regulador en Fase 2..	28
Tabla 5.4: Pruebas de Ajuste y Relación de Transformación con Regulador en Fase 3..	29
Tabla 5.5: Prueba de Resistencia de Aislamiento Regulador de Tensión en Fase 1	30
Tabla 5.6: Prueba de Resistencia de Aislamiento Regulador de Tensión en Fase 2.....	30
Tabla 5.7: Prueba de Resistencia de Aislamiento Regulador de Tensión en Fase 3.....	30
Tabla 5.9: Voltaje en Punto Crítico con Regulador de Tensión	33
Tabla 5.10: Regulación de Tensión en Punto Crítico con Regulador Instalado	33
Tabla 5.11: Evaluación Económica de Reforzamiento de Línea de Distribución	36
Tabla 5.12: Voltajes Medios en Punto Crítico con Soluciones Aplicadas.....	37
Tabla 5.13: Regulación de Voltaje en el Punto Crítico con Soluciones Aplicadas	37
Tabla 5.14: Voltajes Medios en Punto Crítico con Soluciones Aplicadas.....	38
Tabla 5.15: Regulación de Voltaje en el Punto Crítico con Soluciones Aplicadas	38

RESUMEN

Una empresa que tiene una planta de bombeo de agua necesita aumentar su consumo eléctrico debido a nuevas cargas en sus instalaciones. Esta necesidad se gestiona con la solicitud de conexión o aumento de servicio, que se realiza a la empresa de distribución eléctrica que tenga la concesión en el lugar. Cuando la empresa de distribución recibe la solicitud, procede a realizar el estudio de factibilidad correspondiente. En el estudio se analiza la capacidad de la línea para soportar la nueva carga para determinar si se necesitan obras adicionales.

El análisis del caso se realizó bajo los estándares de la Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución, donde se mencionan 2 puntos muy importantes: Calidad Comercial y Calidad de Producto, donde se establecen tiempos de respuesta y ejecución y también se establece un parámetro mínimo de Regulación de Voltaje.

La empresa de distribución eléctrica desarrollo algunos escenarios hipotéticos, con los equipos necesarios para mejorar las variables eléctricas que se proyectaron con la nueva carga. En estas proyecciones se consideraron la instalación de un regulador de voltaje y el refuerzo de la línea de distribución. En ambas situaciones mejoraría la regulación de voltaje, sin embargo con el refuerzo de la línea existiría una disminución de las pérdidas técnicas, lo que se traduce en una menor pérdida económica.

Al acercarse al fin del tiempo límite, regulado por la Norma Técnica, la empresa de distribución debió realizar la instalación del regulador de voltaje, para mantener la regulación bajo el límite de 8%. Luego de esto, se realizó el refuerzo de la línea de distribución, donde se mantuvo la regulación cerca de un 7%, pero la mejora más importante fue la disminución de las pérdidas técnicas, ya que esto significa un retorno económico mayor para la empresa.

ABSTRACT

A company that has a water pumping plant needs to increase its electricity consumption due to new loads in its facilities. This need is managed with the request for connection or service increase, which is made to the electric distribution company that holds the concession in the area. When the distribution company receives the request, it proceeds to conduct the corresponding feasibility study. In the study, the capacity of the line to support the new load is analyzed to determine if additional works are needed.

The case analysis was conducted under the standards of the Technical Service Quality Standard for Distribution Systems, where two very important points are mentioned: Commercial Quality and Product Quality, which establish response and execution times and set a minimum Voltage Regulation parameter.

The electric distribution company developed some hypothetical scenarios, with the necessary equipment to improve the electrical variables projected with the new load. In these projections, the installation of a voltage regulator and the reinforcement of the distribution line were considered. In both situations, voltage regulation would improve; however, with the reinforcement of the line, there would be a reduction in technical losses, which translates to a lower economic loss.

As the deadline approached, regulated by the Technical Standard, the distribution company had to install the voltage regulator to maintain regulation below the 8% limit. After this, the reinforcement of the distribution line was carried out, where the regulation was maintained at around 7%, but the most significant improvement was the reduction of technical losses, as this means a greater economic return for the company.

Capítulo 1 Marco Introductorio

1.1 Introducción

El sistema eléctrico constituye un pilar fundamental para el desarrollo socioeconómico de cualquier región. Sin embargo, el envejecimiento de las infraestructuras y el aumento de la demanda energética generan desafíos constantes para garantizar la calidad y continuidad del suministro eléctrico.

El alimentador Piedra Colgada de 23 kV de tensión y alrededor de 90 km de largo, que nace en la subestación Hernán Fuentes, ubicada en la salida norte de la ciudad de Copiapó, ha experimentado un alza de la demanda eléctrica por el crecimiento industrial del sector y se ha visto afectado por diversos factores, como el dimensionamiento inicial de los calibres de conductores y su capacidad de conducción de corriente. Estos factores han dado lugar a caídas de tensión en la cola del alimentador afectando directamente a los usuarios finales, comprometiendo la calidad del suministro eléctrico.

El presente documento tiene como objetivo principal analizar en detalle las condiciones del alimentador Piedra Colgada, identificar las causas de las fallas y proponer soluciones técnicas que permitan mejorar su desempeño y prolongar su vida útil. Los resultados de este estudio indicaran la operación del sistema eléctrico en la zona, como se redujeron las pérdidas de energía y mejorar la calidad del servicio para los usuarios.

El alcance de este estudio se centrará evaluar y conocer las soluciones técnicas y económicas para optimizar el suministro en un sistema de distribución, Conocer y analizar el impacto de las diferentes soluciones para mejorar la calidad del servicio de distribución y sus costos asociados a través de un enfoque técnico y riguroso, se buscará desarrollar un plan de acción concreto para el mejoramiento del alimentador Piedra Colgada.

1.2 Antecedentes Generales

Se necesita conectar una carga de 1.15MW en una estación de bombeo de una planta desalinizadora. La nueva carga constituye cerca de un 17% de la carga total del alimentador Piedra Colgada, por lo que se deben realizar obras adicionales para mejorar las características del sistema.

1.3 Objetivos del Proyecto

1.3.1 Objetivos Generales

El objetivo de este estudio es evaluar y conocer las soluciones técnicas y económicas para optimizar el suministro en un sistema de distribución, garantizando la calidad del servicio y minimizando las pérdidas energéticas, ante un aumento de la demanda.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la factibilidad técnica para aumentar la capacidad de suministro, de acuerdo con la norma técnica de calidad de suministro para sistemas de distribución.
- Conocer y analizar el impacto de las diferentes soluciones para mejorar la calidad del servicio de distribución y los costos asociados.
- Conocer las variables eléctricas críticas de la línea de distribución para una ampliación de servicios.

1.4 Planteamiento del Problema

Una empresa de desalinización de agua de mar tiene la necesidad de conectar una nueva bomba en su proyecto ubicado a 30 km al norte de Copiapó.

La nueva capacidad del sistema debe ser informada a la empresa de distribución eléctrica de Copiapó, para que se realice el correspondiente estudio de Factibilidad Técnica.

Con los resultados del estudio de Factibilidad Técnica realizado por la empresa de distribución eléctrica, se detecta que el alimentador correspondiente al área de Piedra Colgada, y sus alrededores, tendrá disminución significativa en la regulación de voltaje, quedando fuera del rango aceptado según la normativa vigente de calidad de servicio.

1.5 Alcance del Proyecto

Este estudio puede ser utilizado como base para cualquier sistema de distribución eléctrica en media tensión donde existan características similares, es decir, distancias sobre los 5 km lineales en zonas rurales donde existan cargas residenciales e industriales.

1.6 Metodología

El problema de aumentar, de forma significativa, las cargas en una línea de distribución es la caída de tensión en los tramos finales de ésta, por lo que la solución debe apuntar hacia esa dirección. Entonces, teniendo las mediciones o la proyección de las medidas eléctricas se puede diseñar un sistema que logre disminuir e incluso mejorar estos efectos.

Otra parte fundamental para encontrar la solución es seguir lo que establecen las normas técnicas aplicables, en este caso, la Norma Técnica de Calidad de Servicios para Sistemas de Distribución. En esta norma se establecen plazos que aplican, desde nuestro enfoque, a las empresas de distribución eléctrica, tales como: entregas de informes, estudios adicionales, visitas a terreno, ejecución de obras adicionales y permisos a terceros. Las empresas de distribución deben mantenerse dentro de los plazos establecidos, ya que de lo contrario se arriesgan a multas por parte de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

Por otra parte, y muy importante, se debe realizar un estudio técnico-económico, para determinar cuál de las soluciones aplicables es la más conveniente determinando el costo-beneficio de cada una de ellas.

Finalmente, se deben evaluar todos los puntos antes mencionados, para determinar que solución se debe implementar en el plazo determinado por la ley. Además, se debe verificar si es necesario implementar una nueva solución para evitar problemas futuros.

Capítulo 2 Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución

2.1 Descripción General de la Norma

Una norma técnica es un documento que establece los requisitos, especificaciones, directrices o características que deben cumplir los servicios para garantizar su calidad.

Para nuestro caso de estudio, el documento que nos entrega las directrices es la Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución (NTCSSD), la cual tiene como objetivo principal establecer las exigencias y estándares por los cuales se deben regir las empresas que distribuyan la energía eléctrica. Además, la norma técnica busca asegurar una mejor calidad de servicio para los consumidores, manteniendo un equilibrio que no comprometa la economía de los hogares.

2.2 Calidad Comercial (Cap. 5 NT)

2.2.1 Conexión y Ampliación de Servicios (Tít. 5-1 NT)

2.2.1.1 Generalidades (Art. 5-1 NT)

La Empresa Distribuidora solo podrá autorizar la conexión de una instalación, o la modificación de una existente, cuando ésta cumpla con el procedimiento indicado en el presente título, en la Norma Técnica de Conexión y Operación del Sistema Eléctrico Nacional (NT CyO) o NT Netbilling (Norma Técnica de Conexión y Operación de Equipamientos de Generación), según corresponda. Lo anterior incluye instalaciones que son propiedad de la Empresa Distribuidora.

2.2.1.2 Solicitud para la Conexión o Ampliación de Servicios (Art. 5-2 NT)

Toda persona natural o jurídica que tenga o no el carácter de Cliente o Usuario, para efectos de este capítulo el “Requirente”, cuya instalación esté ubicada dentro de la zona de concesión de una Empresa Distribuidora, o que estando fuera de ella se conecte a las instalaciones de la Empresa Distribuidora mediante líneas propias o de terceros, podrá solicitar mediante una comunicación dirigida a dicha Empresa Distribuidora, la conexión o ampliación de servicios, según corresponda, sean en forma definitiva o provisoria.

Las comunicaciones que se efectúen entre la Empresa Distribuidora y el Requirente podrán realizarse mediante técnicas y medios electrónicos, por medio de carta certificada o una carta ingresada en la oficina comercial o sucursal de la Empresa Distribuidora, a opción del Requirente. La Empresa Distribuidora deberá remitir copia de dicha comunicación y su correspondiente respuesta a la Superintendencia en el formato y medio que ésta disponga.

Las técnicas y medios electrónicos señalados en el inciso precedente deberán indicar el número de solicitud y cumplir con las instrucciones de carácter general que imparta la Superintendencia con el objetivo de permitir la adecuada fiscalización del proceso.

2.2.1.3 Procedimiento para la Conexión o Ampliación de Servicios (Art. 5-3 NT)

Las solicitudes a que se refiere el artículo anterior deberán seguir el siguiente procedimiento (números según NT):

1.- Solicitud del Requirente: el Requirente, deberá comunicar a la Empresa Distribuidora su solicitud de conexión o ampliación de servicio, según corresponda. Dicha solicitud deberá indicar, al menos, lo siguiente:

1.1. Dirección de la instalación para la cual se solicita el servicio. Cuando se trate de ampliación de servicios, deberá incluir, adicionalmente, el número de Cliente.

1.2. Identificación del Punto de Conexión en caso de tratarse de una solicitud de conexión (número de poste o cámara).

1.3. Potencia a conectar en [kW].

1.4. Nivel de tensión del empalme requerido.

1.5. Cantidad de fases requeridas.

1.6. Croquis de ubicación de la propiedad.

1.7. Ubicación del empalme del nuevo suministro.

1.8. Fecha en que el Requirente solicita que el suministro esté disponible.

2.- Respuesta a la Solicitud del Requirente: dentro de los 8 días hábiles siguientes a la recepción de la solicitud, la Empresa Distribuidora deberá enviar sin costo alguno al Requirente el Informe de Condiciones Previas o Factibilidad Técnica de Suministro, donde se indique cómo es factible proceder con la solicitud del Requirente. En el Informe de Condiciones Previas o Factibilidad Técnica de Suministro se deberá indicar, al menos, lo siguiente:

2.1. En el caso que sea procedente, indicar justificadamente los estudios para determinar la necesidad de obras adicionales en la Red de Distribución.

2.2. En el caso de los consumos cuya potencia instalada sea superior a 10 kW o si el Requirente lo solicita expresamente, se deberá indicar también los niveles de cortocircuito en el transformador de distribución correspondiente al punto de conexión o en el transformador de distribución más cercano, siempre que existan razones técnicas que lo justifiquen.

2.3. Cuando se trate de una solicitud en media tensión, adicionalmente a lo indicado en el punto 2.2 se debe especificar el nivel de cortocircuito en el Alimentador respectivo.

3.- Necesidad de efectuar estudios: en caso de que se requieran estudios para determinar la necesidad de obras adicionales en la Red de Distribución, a los que se refiere el numeral 2.1, la Empresa Distribuidora dispondrá de un plazo máximo de 15 días hábiles, para realizar y remitir al Requirente los estudios que correspondan, los que serán de cargo de la Empresa Distribuidora respectiva. Dichos estudios deberán contener, al menos, lo siguiente:

3.1. El detalle de las obras adicionales requeridas en la Red de Distribución, sus costos y si su ejecución requiere solicitar permisos a terceros. Cada una de las obras adicionales y equipos deberán estar justificados técnicamente y desagregarse en: nuevas instalaciones, reemplazo de infraestructura existente, o adecuaciones.

3.2. Los planos asociados a las obras adicionales en la Red de Distribución detallando las que serán necesarias para permitir la solicitud del Requirente.

3.3. La modalidad de financiamiento de dichas obras y si éstas se encuentran dentro de la zona de concesión.

3.4. Los plazos en que las obras adicionales en la Red de Distribución pueden ser implementadas.

El plazo de 15 días hábiles señalado para evaluar la necesidad de efectuar estudios, podrá ser ampliado por hasta 10 días hábiles, siempre y cuando, para la elaboración del estudio, la Empresa Distribuidora requiera justificadamente realizar visitas en terreno. En estos casos, la Empresa Distribuidora deberá coordinar con el Requirente la visita y dejar registro de la fecha en que se realizó.

En el caso de las Empresas Distribuidoras que operen en Sistemas Medianos, el contenido y los plazos asociados a los estudios para determinar la necesidad de obras adicionales en la red de distribución serán establecidos en la NT SSMM.

4.- Conexión o ampliación de servicios: la Empresa Distribuidora deberá conectar o ampliar los servicios del Requirente que haya presentado los siguientes antecedentes:

4.1. Acreditación del término de los trabajos previos a la conexión de la instalación y que no hayan sido contratados a la Empresa Distribuidora, si corresponde.

4.2. La declaración de puesta en servicio realizada ante la SEC.

4.3. El contrato de suministro firmado por el Requirente.

4.4. Acreditación del pago de las obras asociadas a la conexión que no formen parte de la red de Distribución, las que serán de cargo del Requirente, cuando corresponda.

4.5. Autorización del condominio o comunidad para ejecutar los trabajos que sean necesarios para la conexión, en caso de que el Requirente indique que dicha autorización será exigida al momento de realizar los trabajos.

La Empresa Distribuidora podrá convenir con el Requirente, en caso de que éste aún no cuente con el contrato del punto 4.3, la entrega de una garantía, a la que se refiere el Decreto Supremo 327, de 1997 del Ministerio de Minería o el que lo reemplace. Lo anterior, con el objeto de adelantar las obras adicionales que necesita realizar la Empresa Distribuidora para efectos de conexión o aumento de capacidad del empalme. Esta garantía no reemplaza la declaración de puesta en servicio del punto 4.2, requisito necesario para la conexión o ampliación del suministro.

La Empresa Distribuidora, a solicitud del Requirente, deberá verificar si las obras adicionales que fueron caucionadas están siendo utilizadas e informar al Requirente y a la Superintendencia de dicho análisis. Lo anterior, a efectos que la Empresa Distribuidora determine si procede restituir la garantía.

Cada seis meses la Empresa Distribuidora deberá informar las garantías que haya ejecutado a la Superintendencia, en los formatos y medios que ésta disponga.

2.2.1.4 Plazos para la Conexión o Ampliación de Servicios (Art. 5-4 NT)

Los plazos para conectar o ampliar el servicio de un Requirente comenzarán a partir del día hábil siguiente al que se hayan remitido a la Empresa Distribuidora todos los antecedentes establecidos en el *Artículo 5-3, numeral 4.*, y no podrán superar los límites establecidos en la siguiente tabla, salvo que el respectivo Requirente y la Empresa Distribuidora acuerden un plazo superior, lo que deberá constar por escrito y dejar constancia en el expediente.

Casos	Plazo (días hábiles)
No requiere obras adicionales en la Red de Distribución a que se refiere el <i>Artículo 5-3</i>	10
Requiere obras adicionales en la Red de Distribución a que se refiere el <i>Artículo 5-3</i> , pero no solicitar permisos a terceros	20
Requiere obras adicionales en la Red de Distribución a que se refiere el <i>Artículo 5-3</i> y solicitar permisos a terceros	90

Tabla 2.1: Plazos Máximos para la Conexión o Ampliación de Servicios de los Clientes (Tabla 20 de la NT)

En caso de que se haya determinado la necesidad de obras adicionales en la Red de Distribución o de obras asociadas a la conexión que no formen parte de la Red de Distribución, según lo dispuesto en el artículo anterior y tales obras no puedan ser ejecutadas en los plazos señalados en la *Tabla 20*, la Empresa Distribuidora deberá proceder de conformidad con lo dispuesto en los incisos penúltimo y final del presente artículo.

En el caso de nuevas concesiones, los plazos se contarán a partir de la fecha de término de las obras que se establezcan en el respectivo decreto de concesión.

En caso de que los antecedentes enviados por el Requirente no permitan verificar si la instalación cumple con las exigencias aplicables, la Empresa Distribuidora deberá solicitar al Requirente, dentro de los 5 días hábiles siguientes a la recepción de éstos, el reenvío de antecedentes corregidos o adicionales que se requieran para certificar el cumplimiento de las exigencias aplicables a la instalación.

En caso de que la Empresa Distribuidora considere que existen limitantes que impiden dar cumplimiento a lo establecido en el presente artículo, tales como permisos de terceros que se encuentren pendientes, cuyos plazos de tramitación no dependan de la Empresa Distribuidora y que hayan sido tramitados de forma diligente, ésta deberá informar a la

Superintendencia las razones que justifican dicho impedimento, dentro de los plazos establecidos en la *Tabla 20*.

La Superintendencia deberá analizar los antecedentes entregados por la Empresa Distribuidora, considerando para ello los tiempos de ejecución de los trabajos de la misma y los permisos de terceros que se requieran. Luego, determinar el plazo en que deberá conectar o ampliar los servicios solicitados por el Requirente, lo que deberá ser comunicado por la Empresa Distribuidora al Requirente.

2.3 Calidad de Producto (Cap. 3 NT)

2.3.1 Regulación de Voltaje (Art. 3-1 NT)

Para determinar el valor de la regulación de tensión se utilizará la siguiente fórmula:

$$\Delta V_k = \frac{|V_k - V_n|}{V_n} * 100$$

Donde:

- ΔV_k : Regulación de Tensión en el punto k, en [%].
- V_k : Tensión de suministro en el punto k, determinada como el promedio de las medidas en un intervalo de 15 minutos, en [kV].
- V_n : Tensión Nominal en el punto k, en [kV].

En Estado Normal y durante el 95% del tiempo de cualquiera semana del año o de siete días corridos de medición y registro, los valores eficaces de la tensión en el punto de conexión de los Usuarios, promediados en 15 minutos, deberán ser tales que la regulación de tensión se mantenga dentro de los siguientes límites:

Tensión de Red	Densidad de Red	
	Alta y Media	Baja y Muy baja
Baja Tensión	± 7,5%	± 10,0%
Media Tensión	± 6,0%	± 8,0%

Tabla 2.2: Límites de Regulación de Voltaje según NTCSSD

Sin perjuicio de lo anterior, en Estado Normal o Estado Anormal, todos los valores eficaces de la tensión, promediados en 15 minutos para todos los tipos de redes, en BT y MT, deberán situarse dentro del intervalo $V_n - 15\%$ y $V_n + 10\%$

Capítulo 3 Glosario Técnico

3.1 Sistemas de Distribución de Media Tensión

Las líneas de distribución son el conjunto de redes eléctricas que se utilizan para repartir la energía eléctrica en las zonas rurales y urbanas, así como a los usuarios finales que la utilizan para actividades productivas, servicios públicos, privados y uso doméstico; estas líneas pueden ser aéreas o subterráneas.

Las zonas industriales y residenciales se expanden, cada vez más, hacia las zonas rurales y zonas agrícolas, lo que hace que el consumo eléctrico en zonas alejadas sea cada vez mayor. De acuerdo con lo anterior, se entiende que las líneas de distribución deben mantenerse en desarrollo constante para no limitar el crecimiento industrial ni la calidad de vida de los residentes de las zonas rurales, con un servicio de baja calidad.

Nos enfocamos en este caso de estudio en las líneas de distribución en media tensión, con extensiones superiores a los 7 km, para ver los efectos que producen cargas grandes en el sistema, especialmente en la capacidad de los conductores, la potencia de las cargas, el factor de potencia y la caída de tensión.

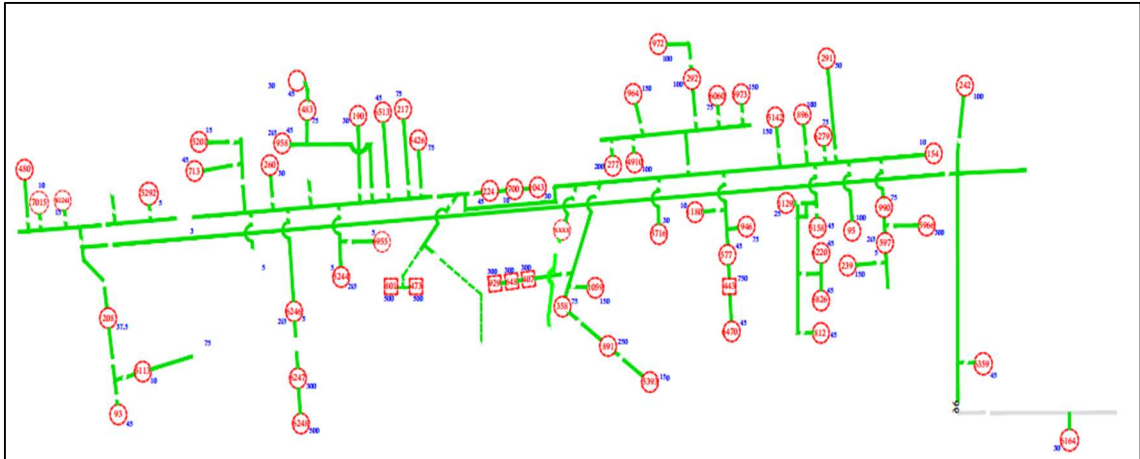


Figura 3.1: Diagrama de Sistema de Distribución Rural

3.2 Regulador de Tensión en Distribución

Los reguladores de tensión en distribución mantienen los voltajes del sistema de distribución de energía dentro de un rango definido. Los voltajes regulados garantizan que los productos y los equipos eléctricos funcionen de manera óptima.

Los equipos eléctricos, por lo general, están diseñados para funcionar dentro de un rango de tensión limitado. El voltaje mal regulado a menudo resulta en un rendimiento adverso e inaceptable del equipo. Los problemas que pueden ocurrir incluyen daños a la electrónica, funcionamiento ineficiente de los motores, bombillas tenues y muchos otros problemas.

Las cargas eléctricas pesadas y las líneas de distribución largas arrastran los voltajes del sistema. Los reguladores de voltaje permiten a las empresas de distribución mantener los niveles de voltaje dentro de los rangos aceptables, lo que brinda a los clientes de servicios públicos la garantía de que el equipo eléctrico funcionará correctamente.

Las últimas tecnologías de los reguladores de voltaje ofrecen ventajas importantes sobre los diseños tradicionales:

- Controles electrónicos con características avanzadas que admiten tecnología de red inteligente y comunicaciones SCADA
- Control multifásico que opera dos o tres reguladores con un solo controlador
- Cambiadores de derivación con tecnología de vacío, mayores capacidades nominales de carga y menos requisitos de mantenimiento



Figura 3.2: Regulador de Tensión para Distribución en 23KV

3.3 Alimentador de Línea de Distribución y Demanda del Alimentador

Un alimentador de distribución de energía es una línea que conecta las subestaciones con los clientes. Su función es crucial para el suministro de electricidad confiable y de calidad. En nuestro caso de estudio el Alimentador es la subestación que alimenta al sector que se encuentra en la salida norte de Copiapó hasta el peaje.

La demanda del alimentador puede referirse a la demanda de potencia, que es la cantidad de energía que un sistema requiere para funcionar en un momento determinado. La demanda de potencia se mide en kilovatios (kW) y es una medida de la capacidad máxima que un sistema puede manejar.

3.4 Pérdidas Técnicas

Las pérdidas técnicas que se manifiestan en un sistema eléctrico de potencia, en este caso un sistema de distribución, son producidas por los componentes de la infraestructura del mismo sistema, es decir, conductores, cables, transformadores, interruptores y otros componentes. Las pérdidas se manifiestan en forma de calor y pueden ser cuantificadas de acuerdo con la siguiente formula:

$$Pérdidas = I^2 R.$$

Donde:

I = es la corriente en Amperios, que circula por el conductor o equipo.

R = es la resistencia en ohmios

Entonces, para obtener el total de las pérdidas técnicas, las empresas de distribución tienen algunas opciones, entre ellas las siguientes:

- Realizar mediciones de cada transformador que existe en la línea de distribución, para determinar las pérdidas en cada punto y luego sumarlas.
- Considerar la energía total entregada en la subestación y luego restar las ventas totales de energía, en un periodo de tiempo, que habitualmente es 1 año.

Capítulo 4 Estudio de Factibilidad

4.1 Solicitud de Conexión Empresa Desalinizadora

Una empresa de desalinización de agua de mar tiene su planta de bombeo ubicada a 30 km al norte de la ciudad de Copiapó. En esta planta se instaló una bomba adicional al sistema original, por lo tanto, su consumo será mayor. Para que esta nueva carga pueda ser alimentada por el sistema eléctrico, se debe seguir con algunos pasos indicados en la Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución.

De acuerdo con la necesidad antes mencionada, de la empresa de desalación, se presentó la solicitud de conexión o ampliación a la empresa de distribución que tiene la concesión en la ciudad de Copiapó, con la siguiente información:

Dirección de la instalación	Reservada
Punto de Conexión	Poste 4-040901
Potencia solicitada (kW)	1150
Nivel de Tensión	23 kV
Cantidad de fases requeridas	3
Croquis de ubicación de la propiedad	Reservada
Ubicación del empalme del nuevo suministro	Reservada
Fecha	31/07/2019
EG/PMDG	No aplica (Sin generación)
Dominio de Propiedad	Reservada

Tabla 4.1: Solicitud de Factibilidad Empresa Desalinizadora

4.2 Estudio de Factibilidad Empresa de Distribución

Una vez que la empresa de distribución eléctrica recibe la solicitud de factibilidad para la ampliación de servicios, tiene 8 días hábiles para enviar el Informe de Condiciones Previas o Factibilidad Técnica de Suministro al requirente, de acuerdo con la Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución.

Con la información entregada por parte del requirente y las medidas eléctricas del área, la empresa de distribución realizó el análisis de factibilidad con la siguiente información:

Potencia solicitada (kW)	1150
Caución de potencia	Sí
Estudio de factibilidad	Sí
Tarifa	AT4.3
A/S	Aérea
Factor de potencia (p.u.)	0,94
Factor de utilización (p.u.)	0,7
Factor de carga (p.u.)	0,8
Factor de relación PHP/DMS (p.u.)	0,6
Potencia efectiva (kW)	805
Demanda anual energía (kWh)	5.641.440

Tabla 4.2: Mediciones y Factores en Proyecto para Grandes Clientes

La información de la tabla anterior detalla a continuación:

- a) La bomba que se requiere conectar a la red tiene una potencia de 1.150kW, es decir, 1,15MW.
- b) Para la solicitud se propone una tarifa en Alta Tensión AT4.3, habitualmente son utilizadas por clientes que tienen la posibilidad de reducir su potencia demandada durante las horas de punta.
- c) El Factor de Potencia es de 0.94. que nos indica la eficiencia mínima que debe tener la empresa en la ampliación solicitada.
- d) El Factor de Utilización de 0.7 p.u. significa que la Demanda Máxima será de un 70% de la Capacidad Nominal solicitada.

- e) El Factor de Carga de 0.8 p.u. significa la Demanda promedio será el 80% de la Demanda Máxima utilizada.
- f) El Factor PHP/DMS nos indica la cantidad de Potencia en Hora Punta o también conocida como Demanda Máxima Suministrada, en este caso es un 60%.
- g) La Potencia Efectiva de 805kW será la potencia real de la carga.
- h) Finalmente, la Demanda anual energía de 5.641.440 (kWh), está asociada directamente a la tarifa AT4.3. Se puede estimar el costo económico para la empresa que requiere la nueva conexión.

Con toda la información técnica, mediciones y necesidades del requirente, se desarrolló un análisis del caso para el alimentador principal, considerando algunos casos hipotéticos, de acuerdo con la siguiente tabla:

Condición	Demanda Alimentador [kW]	Pérdidas Técnicas [kW]	Pérdidas Técnicas [kWh/año]	Pérdidas Técnicas totales [USD/año]	Regulación de tensión [PU]	Inversión Modular [USD]
Caso Base: Sin Instalación Nueva	6.610	159	639.274	70.647	0,92	-
Caso 2: Con Nueva Bomba de 1,16 MW Sin Inversión	7.906	291	1.170.510	129.353	0,9	-
Caso 3: Con Nueva Bomba de 1,16 MW e Instalación de Regulador de Voltaje	7.885	270	1.084.070	119.800	0,92	138.850
Caso 4: Con Nueva Bomba 1,16 MW y Reforzamiento de Alimentador	7.773	158	635.155	70.189	0,93	281.866

Tabla 4.3: Análisis de Factibilidad Técnico - Económico

Para el análisis de las pérdidas técnicas, la empresa de distribución consideró todas las cargas del sistema, las cuales consisten en un conjunto de más de 50 transformadores, donde la capacidad de estos es reservada, por confidencialidad, sin embargo, las variables son detalladas para el sistema de forma global.

4.2.1 Caso Base: Sin Instalación Nueva

Para la evaluación de este caso se consideran las condiciones actuales de la línea de distribución, es decir, sin conectar la nueva carga de la empresa requirente.

La Demanda del Alimentador es de 6.610 kW y la Regulación de Tensión es de 0.92 (8%), la cual se encuentra dentro de banda de normativa para área rural. Para este caso, según la Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución, es un $\pm 8\%$, ya que el área tiene una baja densidad y el requirente tiene su empalme en media tensión.

Según nuestro análisis, la Regulación de Voltaje, que es la variable más importante para este caso, se encuentra en el límite permitido, ya que está en 0.92 (8%), por lo tanto, las obras de mejoras eran necesarias, incluso antes de la solicitud del requirente. También se puede observar que las pérdidas técnicas generan un total de 70,7 mil dólares en pérdidas por año.

4.2.2 Caso 2: Con Nueva Bomba de 1,16 MW Sin Inversión

En este caso se considera la conexión de la nueva bomba del requirente a la red, sin inversiones por parte de la empresa de distribución.

El análisis técnico-económico realizado por la empresa de distribución señala que se observaría un incremento de un 19,6% de la demanda en el Alimentador de Piedra Colgada. A su vez, el incremento de la demanda generaría un aumento en las pérdidas técnicas de casi un 100%, por lo que el costo de éstas subiría a 129,4 mil dólares por año.

En cuanto al análisis realizado para los límites que señala de la Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución, la empresa de distribución señala que la Regulación de Voltaje se reduciría a un 0,90 (10%), por lo que quedaría fuera de la banda permitida.

Después de este análisis, se deduce que las obras adicionales para mejorar las condiciones de la línea de distribución son necesarias.

4.2.3 Caso 3: Nueva Bomba de 1,16 MW e Instalación de Regulador de Voltaje

En este caso se considera la conexión de la nueva bomba del requirente a la red, pero además se estima la inversión para la instalación de un regulador de tensión. El regulador de tensión se proyecta en el poste 4-041028, siendo el origen del alimentador en el poste 4-044123.

En este caso existiría una inversión estimada de 138,85 mil dólares. La Regulación de se estima en 0.92 (8%). Por otra parte, las pérdidas técnicas aumentarían un 69,58% con respecto al Caso Base, pero disminuirían un 7,39% con respecto al Caso 2.

En resumen, las pérdidas técnicas disminuirían, incluso con la nueva carga conectada al sistema de distribución, y además la Regulación de Voltaje quedaría dentro de los límites exigidos por la Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución,

En este caso, con respecto a la parte económica, la inversión de 138,85 mil dólares sólo le permitiría a la empresa de distribución mantenerse dentro de los límites establecidos en la Norma Técnica, sin embargo, el retorno económico sería bastante extenso, ya que incluso las pérdidas técnicas aumentarían de manera considerable. Es necesaria la evaluación de una segunda opción de inversión.

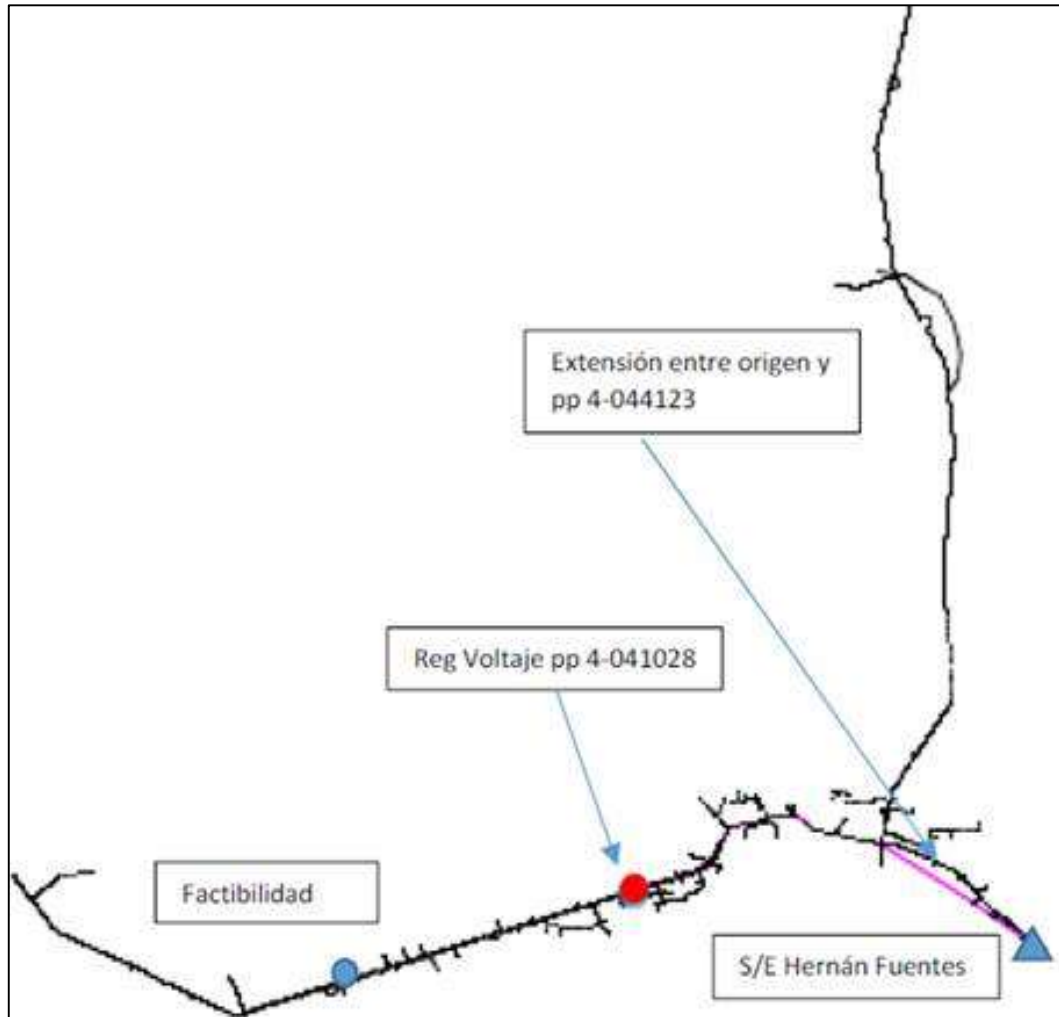


Figura 4.1: Evaluación de Factibilidad con Regulador de Tensión

4.2.4 Caso 4: Con Nueva Bomba 1,16 MW y Reforzamiento de Alimentador

En este caso se considera la conexión de la nueva bomba del requirente a la red, y además se estima la inversión para el reforzamiento del alimentador de Piedra Colgada y alrededores. El reforzamiento consiste en una nueva línea de distribución, la cual se instalaría paralela a la existente para generar una división de las cargas.

En este caso existiría una inversión estimada de 281,87 mil dólares. La Regulación de se estima en 0.93 (7%). Por otra parte, las perdidas técnicas disminuirían un 0,65% con

respecto al Caso Base, disminuirían un 45,74% con respecto al Caso 2 y disminuiría un 70,68% respecto del caso 3.

En resumen, las pérdidas técnicas disminuirían drásticamente, incluso con la nueva carga conectada al sistema de distribución, y además la Regulación de Voltaje quedaría dentro de los límites exigidos por la Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución.

En este caso, con respecto al análisis económico, la inversión de 281,87 mil dólares podría recuperarse con la ampliación solicitada por el requirente. Además, la regulación de Voltaje permitiría la inclusión de nuevos clientes sin trabajos adicionales para mejoras.

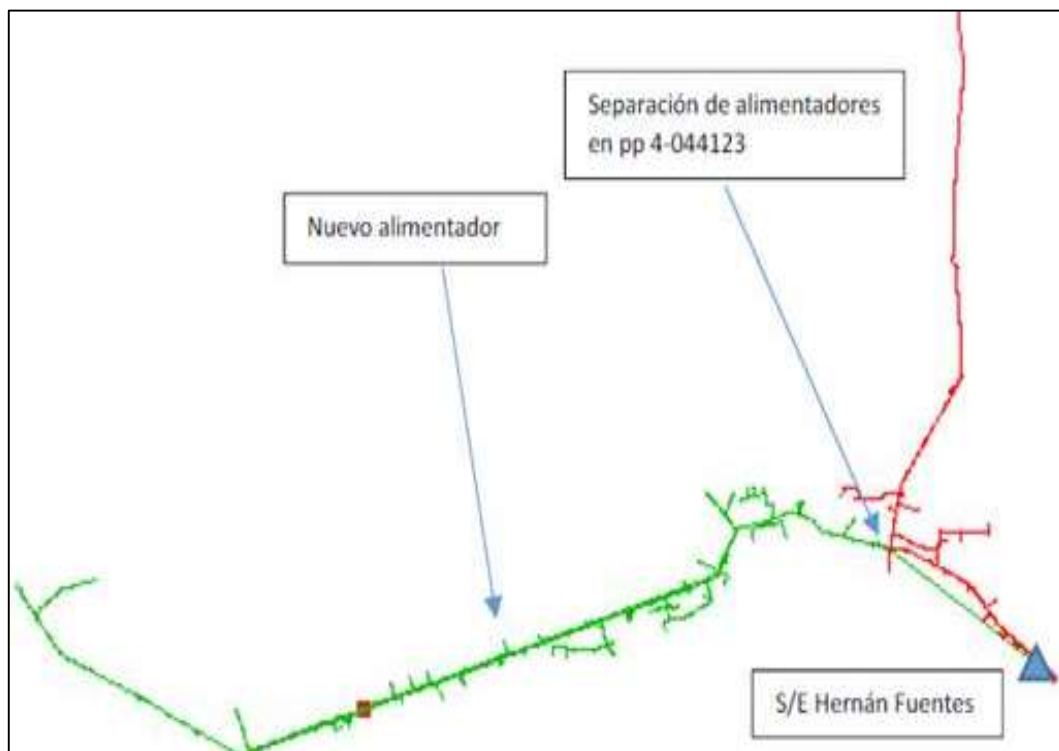


Figura 4.2: Evaluación de Factibilidad con Reforzamiento de Alimentador

Capítulo 5 Metodología para la Implementación de Soluciones

5.1 Etapa I: Evaluación de Norma Técnica y Disponibilidad

De acuerdo con el análisis de factibilidad de la empresa de distribución, la mejor opción para conectar la nueva carga del requirente es el reforzamiento del alimentador de Piedra Colgada. Sin embargo, de acuerdo con los plazos indicados para la conexión o ampliación de servicios en la Tabla 20 del Artículo 5-4 de la Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución, la empresa de distribución eléctrica tendrá 90 días hábiles para la ampliación de servicios cuando se necesitan obras adicionales y, además, sea necesario solicitar permisos a terceros. En este caso, para instalar la línea de refuerzo se necesita solicitar permisos a una empresa de ferrocarriles, por el uso de su franja.

La empresa de distribución contaba con un regulador de voltaje instalado en otra ubicación, donde quedó fuera de servicio, por lo que su instalación en el poste 4-041028, cercano a la Hacienda San Pedro pasó a ser una solución momentánea, considerando que los costos no serían los que estaban considerados en un inicio, al no tener que adquirirlo como equipo nuevo.

Para las mediciones, se utilizará el poste 4-044122, también indicado a lo largo de este proyecto como Punto Crítico, ya que en esa ubicación se puede obtener la Regulación de Tensión más representativa.

Además, la empresa de distribución debe gestionar un estudio de protecciones para actualizar el existente, considerando la nueva carga del sistema.

5.2 Etapa II: Regulador de Tensión

5.2.1 Características del Regulador de Tensión

El regulador de tensión que se utilizó para mejorar la Regulación del Alimentador de Piedra Colgada tiene las siguientes características:

- Marca: EATON
- Modelo: VR32
- Voltaje: 22 kV
- Potencia Aparente: 440/493 kVA
- Carga: 200/224 A
- Frecuencia: 50 Hz
- Rango Regulación: $\pm 10\%$ 32 – 5/8 por paso
- KV BIL: 150
- Relación T.C.: 200:0,2

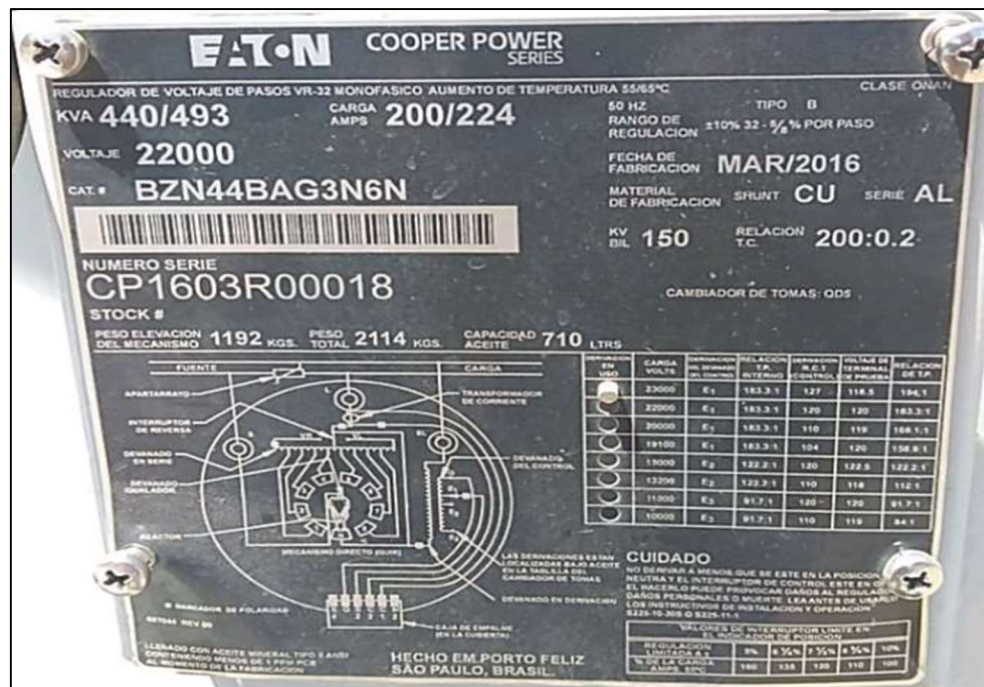


Figura 5.1: Placa Característica Regulador de Voltaje

5.2.2 Parámetros y Configuraciones del Regulador de Tensión

El Regulador de Tensión había sido utilizado previamente, por lo que se revisó su configuración, detectando la siguiente información:

Código	Función	CP1603R00014	CP1603R00017	CP1603R00018	Valor
0	Contador de Operaciones... Encontrado...	6538	7460	7900	Operaciones
0	Contador de Operaciones... Dejado...	6700	7654	8060	Operaciones
1	Configuración de Voltaje (Adelante)	120	120	120	Volts
2	Banda (Adelante)	2	2	2	Volts
3	Tiempo de Retraso	60	60	60	Segundos
4	Compensación de Caída de Línea Resistiva	0	0	0	Volts
5	Compensación de Caída de Línea Reactiva	0	0	0	Volts
40	Identificación del Regulador	2574	2582	2591	
41	Conexión del Regulador	Delta Directo	Delta Directo	Delta Directo	
42	Modo de Control Operacional	Secuencial	Secuencial	Secuencial	
43	Voltaje de Línea del Sistema Regulador	23370	23370	23370	Volts
44	Relación Transformador de Potencia	194	194	194	Volts
45	Relación Transformador de Corriente	200	200	200	Amps
46	Intervalo de Tiempo de Demanda	15	15	15	Minutos
49	Tipo de Ajuste de TAP	QD5	QD5	QD5	
140	Tipo de Regulador	Tipo B	Tipo B	Tipo B	
144	P.I.ADD-AMP-High Limit	16	16	16	
145	P.I.ADD-AMP-Low Limit	-16	-16	-16	

Tabla 5.1: Parámetros y Configuraciones Regulador de Tensión

De la tabla anterior, se puede observar que las operaciones o cambios de TAP van desde las 6538 hasta las 8060. El nivel de Voltaje para la regulación de control es de 120V. La Banda está en 2V, lo cual nos indica que el ajuste debe encontrarse en ese $\pm 2V$ para que la regulación se encuentre dentro de banda.

Además, el Tiempo de Retraso está ajustado en 60 segundos, para que el ajuste comience luego de ese tiempo cuando exista el primer valor fuera de Banda. No existe ajuste de Compensación Resistiva ni Reactiva para el modelamiento de la línea. La conexión de fuerza es Delta Directa. El Modo de Operación de respuesta a los valores fuera de Banda es Secuencial, es decir, luego de que se terminan los 60 segundos de Tiempo de Retardo se produce un cambio de TAP, y después cada 2 segundos se cambia nuevamente, hasta que se el valor de voltaje queda dentro de la Banda.

El Voltaje de Línea se puede ajustar entre 1.200 y 36.000 Volts, en este caso, se encuentra ajustado en 23.370V. La Relación del Transformador de Potencia es de 194V y la Relación del Transformador de Corriente es de 200A. El Intervalo de Tiempo de Demanda es la cantidad de tiempo en el cual se integrarán las mediciones para obtener las lecturas en el panel.

El equipo utilizado para los ajustes de TAP es el Cooper QD5 y el Tipo de Regulador es el B, que indica que es de Diseño de Regulador Invertido. Esta información se encuentra en la placa del equipo.

Los valores P.I.ADD-AMP-High Limit y P.I.ADD-AMP-Low Limit se encuentran en 16 y -16, lo cual nos indica que la capacidad de ajuste se encuentra en el máximo de pasos permitido por diseño, ya que el Regulador de Tensión permite 32 pasos para un ajuste máximo de $\pm 10\%$ ($5/8\%$ por paso).

5.2.3 Pruebas de Relación de Transformación por TAP

Toma	CP1603R00014		
	V prim.	V sec.	Relación
-016	99,98V	8,619339V	11,5995:1
-015	99,99V	8,134172V	12,2926:1
-014	99,98V	7,623863V	13,1141:1
-013	99,98V	7,12468V	14,0329:1
-012	99,97V	6,605619V	15,1341:1
-011	99,97V	6,093234V	16,4067:1
-010	99,98V	5,565824V	17,9632:1
-009	99,98V	5,039623V	19,8388:1
-008	99,98V	4,501965V	22,2081:1
-007	99,98V	3,962161V	25,2337:1
-006	99,98V	3,414295V	29,2828:1
-005	99,98V	2,86111V	34,9445:1
-004	99,98V	2,301936V	43,433:1
-003	99,98V	1,736498V	57,5756:1
-002	99,98V	1,164246V	85,8754:1
-001	99,98V	0,58545V	170,7746:1
000	99,98V	0,000208V	176,7266:1
001	99,98V	0,547298V	182,6786:1
002	99,98V	1,10139V	90,7762:1
003	99,98V	1,70675V	58,5792:1
004	99,98V	2,321052V	43,0753:1
005	99,98V	2,940954V	33,9958:1
006	99,97V	3,57115V	27,9938:1
007	99,98V	4,206218V	23,7696:1
008	99,97V	4,852357V	20,6024:1
009	99,97V	5,502602V	18,1678:1
010	99,97V	6,165349V	16,2148:1
011	99,98V	6,830622V	14,637:1
012	99,98V	7,511429V	13,3104:1
013	99,98V	8,192258V	12,2042:1
014	99,98V	8,890298V	11,246:1
015	99,98V	9,5881V	10,4275:1
016	99,98V	10,305515V	9,7016:1

Tabla 5.2: Pruebas de Ajuste y Relación de Transformación con Regulador en Fase 1

Toma	CP1603R00017		
	V prim.	V sec.	Relación
-016	99,98V	8,618855V	11,6001:1
-015	99,98V	8,133146V	12,2929:1
-014	99,98V	7,623221V	13,1152:1
-013	99,98V	7,124101V	14,0341:1
-012	99,98V	6,605522V	15,1358:1
-011	99,98V	6,093318V	16,4081:1
-010	99,98V	5,565459V	17,9644:1
-009	99,98V	5,039494V	19,8393:1
-008	99,97V	4,501815V	22,2066:1
-007	99,98V	3,961902V	25,2354:1
-006	99,98V	3,413993V	29,2853:1
-005	99,98V	2,860972V	34,9462:1
-004	99,98V	2,301706V	43,4374:1
-003	99,98V	1,736504V	57,5754:1
-002	99,98V	1,164177V	85,8806:1
-001	99,98V	0,585385V	170,7936:1
000	99,98V	0,000344V	176,7428:1
001	99,98V	0,547258V	182,692:1
002	99,98V	1,101405V	90,775:1
003	99,98V	1,707053V	58,5687:1
004	99,97V	2,320987V	43,0722:1
005	99,98V	2,94067V	33,9991:1
006	99,98V	3,57115V	27,9966:1
007	99,98V	4,206198V	23,7697:1
008	99,98V	4,852387V	20,6043:1
009	99,98V	5,502618V	18,1695:1
010	99,98V	6,165299V	16,2166:1
011	99,98V	6,830471V	14,6374:1
012	99,98V	7,511008V	13,3111:1
013	99,97V	8,19178V	12,2037:1
014	99,98V	8,89018V	11,2461:1
015	99,98V	9,588078V	10,4275:1
016	99,98V	10,304738V	9,7023:1

Tabla 5.3: Pruebas de Ajuste y Relación de Transformación con Regulador en Fase 2

Toma	CP1603R00018		
	V prim.	V sec.	Relación
-016	99,98V	8,619618V	11,5991:1
-015	99,97V	8,133674V	12,2909:1
-014	99,98V	7,624031V	13,1138:1
-013	99,98V	7,12508V	14,0321:1
-012	99,97V	6,605636V	15,134:1
-011	99,98V	6,093592V	16,4074:1
-010	99,97V	5,565823V	17,9614:1
-009	99,98V	5,039824V	19,838:1
-008	99,98V	4,502066V	22,2076:1
-007	99,97V	3,961967V	25,2324:1
-006	99,98V	3,414287V	29,2829:1
-005	99,98V	2,861209V	34,9433:1
-004	99,98V	2,301821V	43,4352:1
-003	99,98V	1,73651V	57,5753:1
-002	99,98V	1,164257V	85,8747:1
-001	99,98V	0,58538V	170,795:1
000	99,98V	0,000301V	177,50335:1
001	99,98V	0,542746V	184,2117:1
002	99,98V	1,101437V	90,7725:1
003	99,97V	1,706523V	58,581:1
004	99,97V	2,321128V	43,0695:1
005	99,98V	2,940915V	33,9962:1
006	99,97V	3,571097V	27,9942:1
007	99,98V	4,206083V	23,7703:1
008	99,98V	4,852475V	20,6039:1
009	99,98V	5,502645V	18,1694:1
010	99,98V	6,16542V	16,2163:1
011	99,98V	6,830442V	14,6374:1
012	99,97V	7,510961V	13,3099:1
013	99,98V	8,191992V	12,2046:1
014	99,98V	8,890406V	11,2458:1
015	99,98V	9,588505V	10,4271:1
016	99,98V	10,305664V	9,7015:1

Tabla 5.4: Pruebas de Ajuste y Relación de Transformación con Regulador en Fase 3

5.2.4 Pruebas de Resistencia de Aislamiento

Las pruebas de aislamiento tuvieron los siguientes resultados:

TIEMPO	TENSIÓN APLICADA	TENSIÓN MEDIDA	CP1603R00014		ENSAYO
60 s	10 kV	10228 V	27,1 GΩ	378 nA	OK
180 s	10 kV	10228 V	40,5 GΩ	253 nA	OK

Tabla 5.5: Prueba de Resistencia de Aislamiento Regulador de Tensión en Fase 1

TIEMPO	TENSIÓN APLICADA	TENSIÓN MEDIDA	CP1603R00017		ENSAYO
60 s	10 kV	10228 V	19,2 GΩ	532 nA	OK
180 s	10 kV	10228 V	31,1 GΩ	329 nA	OK

Tabla 5.6: Prueba de Resistencia de Aislamiento Regulador de Tensión en Fase 2

TIEMPO	TENSIÓN APLICADA	TENSIÓN MEDIDA	CP1603R00018		ENSAYO
60 s	10 kV	10228 V	19,4 GΩ	528 nA	OK
180 s	10 kV	10228 V	30,2 GΩ	338 nA	OK

Tabla 5.7: Prueba de Resistencia de Aislamiento Regulador de Tensión en Fase 3

5.2.5 Respaldo Fotográfico de Pruebas, Inspecciones e Instalación



Figura 5.2: Pruebas en Terreno con regulador de Tensión

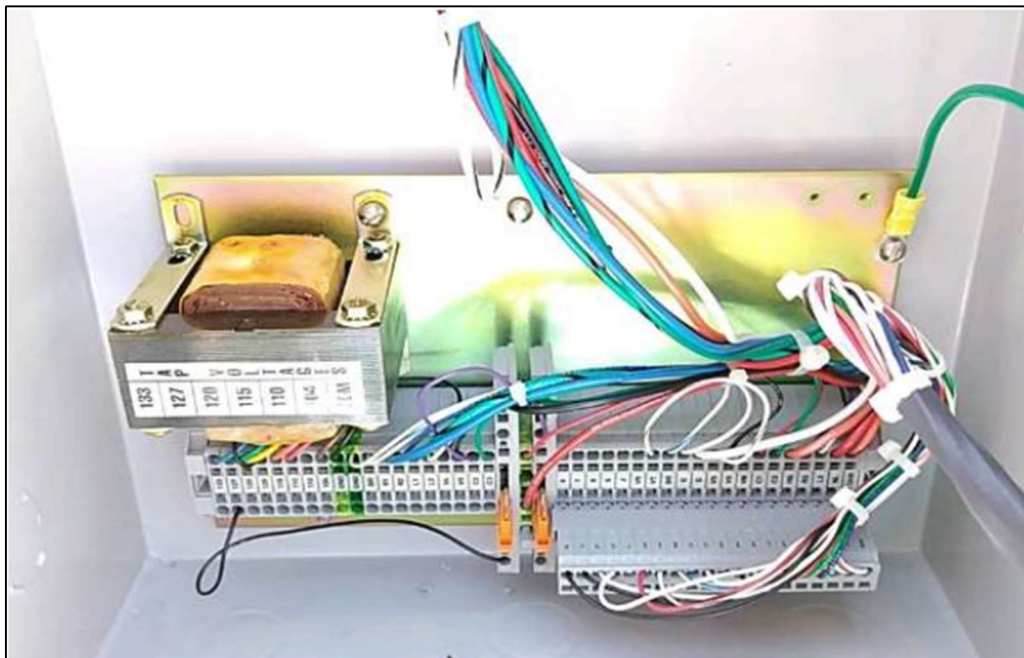


Figura 5.3: Estado de Caja de Control Regulador de Tensión

Luego de todas las pruebas, se realizó la instalación del Regulador de Tensión trifásico en el sector de Dos Hermanas, cercano a Hacienda San Pedro, sector que se encuentra a 25 km al norte de Copiapó.



Figura 5.4: Regulador de Tensión Instalado

5.2.6 Resultados con Regulador de Tensión

Luego de la instalación del Regulador de Tensión, se tienen los siguientes resultados:

Tensión [V]	Tensión Promedio	Tensión A-B	Tensión B-C	Tensión C-A
2020				
Enero	21.358,11	21.358,24	21.359,44	21.356,65
Febrero	21.348,19	21.349,98	21.348,74	21.345,85
Marzo	21.349,51	21.351,12	21.350,70	21.346,71
Abril	21.354,66	21.355,42	21.357,11	21.351,45
Mayo	21.350,64	21.350,91	21.354,19	21.346,82
Junio	21.346,69	21.347,84	21.349,29	21.342,93

Tabla 5.8: Voltaje en Punto Crítico con Regulador de Tensión

De acuerdo con la tabla anterior, la regulación de tensión quedó de la siguiente manera:

Regulación de Tensión	Regulación de Tensión Promedio	Regulación de Tensión A-B	Regulación de Tensión B-C	Regulación de Tensión C-A
2020				
Enero	7,14%	7,14%	7,13%	7,14%
Febrero	7,18%	7,17%	7,18%	7,19%
Marzo	7,18%	7,17%	7,17%	7,19%
Abril	7,15%	7,15%	7,14%	7,17%
Mayo	7,17%	7,17%	7,16%	7,19%
Junio	7,19%	7,18%	7,18%	7,20%

Tabla 5.9: Regulación de Tensión en Punto Crítico con Regulador Instalado

5.3 Etapa III: Reforzamiento de Línea de Distribución

5.3.1 Características de la Línea de Reforzamiento

En paralelo a la instalación del regulador de tensión se desarrolló el proyecto de reforzamiento de la línea de distribución con la bifurcación. La idea del proyecto es dividir las cargas del alimentador para mejorar la regulación de voltaje y también las pérdidas técnicas asociadas.

Luego de la reevaluación del proyecto, la empresa de distribución determino que la línea de reforzamiento necesita las siguientes características:

- a) Largo: 7,201 km
- b) Tensión: 23 kV
- c) Conductor: Aluminio Protegido 300 mm²
- d) Postación: Hormigón Armado de 11.5 m
- e) Tipo: Aéreo
- f) Placa Poste Inicio: 4-044599 (Subestación Hernán Fuentes)
- g) Placa Poste Fin: 4-044122



Figura 5.5: Referencia Reforzamiento Alimentador Piedra Colgada

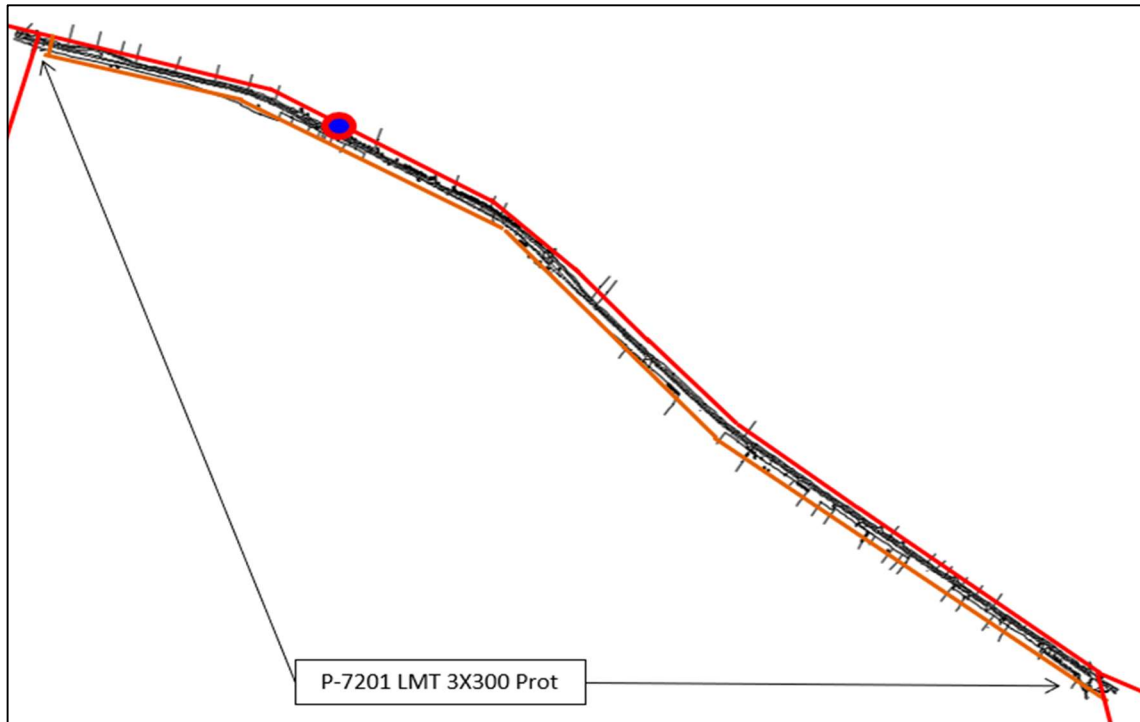


Figura 5.6: Reforzamiento de Alimentador, Proyección de Líneas

5.3.2 Obras Adicionales

El resumen de las obras es la siguiente:

- a) Construcción de 7,201 Km de línea de media tensión trifásica en conductor Aluminio Protegido 3x300 mm², soportada en postes de hormigón de 11,5m proyectados en vía pública.
- b) Instalación de 154 poste de hormigón de 11,5 m con su correspondiente estructura.
- c) Instalación de 02 juego de seccionador cuchillo monopolar trifásico de 900 PT.
- d) Retiro de 0,388 Km de línea de media tensión trifásica en conductor de cobre de 13 mm² 3Ø, soportada en postes hormigón de 11,5 m existentes en vía pública.
- e) Retiro de 0,035 Km de línea de media tensión bifásica en conductor de cobre de 13 mm² 2Ø, soportada en postes hormigón de 11,5 m existentes en vía pública.
- f) Retiro de 0,043 Km de línea de media tensión trifásica en conductor Aluminio 120 mm² 3Ø, soportada en postes hormigón de 11,5 m existentes en vía pública.
- g) Retiro de 07 poste hormigón de 11.5 m con su correspondiente estructura.
- h) Retiro de 01 poste de Madera de 10 m con su correspondiente estructura.

- i) Traslado de 10 juego de desconectores fusible trifásico de 6A.
- j) Traslado de 02 juego de desconectores fusible bifásico de 2A.
- k) Traslado de 0,119 Km de línea de media tensión trifásica en conductor de cobre de 13 mm² 3Ø, soportada en postes hormigón de 11,5 m existentes en vía pública.
- l) Traslado de 0,012 Km de línea de media tensión bifásica en conductor de cobre de 13 mm² 2Ø, soportada en postes hormigón de 11,5 m existentes en vía pública.
- m) Retiro de 0,013 Km de línea de media tensión trifásica en conductor Aluminio 120 mm² 3Ø, soportada en postes hormigón de 11,5 m existentes en vía pública.

5.3.3 Permisos Adicionales

Para realizar la instalación de la nueva línea de distribución paralela, se deben utilizar zonas que tienen otras concesiones, las cuales se debieron gestionar con las siguientes entidades:

- a) Vialidad.
- b) Ferronor.

5.3.4 Evaluación Económica del Proyecto de Reforzamiento de la Línea

La inversión estimada para la ejecución del proyecto de reforzamiento de la línea son los siguientes:

Obras CGED	Valor M.O. (USD)	Valor Materiales (USD)	Valor Neto (USD)
<i>Líneas de Media Tensión</i>	72.711	136.345	209.056
<i>Servicios Adicionales</i>	9.662	-	9.662
<i>HH interna</i> 20%	16.475	27.269	43.744
<i>Imprevistos</i> 8%	4.119	6.817	10.936
Total Inversión	102.966	170.431	273.397

Tabla 5.10: Evaluación Económica de Reforzamiento de Línea de Distribución

5.3.5 Resultados con Reforzamiento de Línea

Después de la implementación del reforzamiento del alimentador, se observan los siguientes valores de voltajes en el poste 4-044122:

Tensión [V]	Tensión Promedio	Tensión A-B	Tensión B-C	Tensión C-A
2024				
Enero	21.392,64	21.398,17	21.385,40	21.394,35
Febrero	21.392,19	21.397,62	21.383,56	21.395,39
Marzo	21.394,32	21.397,12	21.387,64	21.398,19
Abril	21.395,08	21.401,56	21.387,44	21.396,22
Mayo	21.397,67	21.402,97	21.394,66	21.395,39
Junio	21.398,90	21.403,22	21.395,67	21.397,81

Tabla 5.11: Voltajes Medios en Punto Crítico con Soluciones Aplicadas

Finalmente, de acuerdo con los voltajes en el poste final del reforzamiento quedaron de la siguiente manera en el año 2024:

Regulación de Tensión	Regulación de Tensión Promedio	Regulación de Tensión A-B	Regulación de Tensión B-C	Regulación de Tensión C-A
2024				
Enero	6,99%	6,96%	7,02%	6,98%
Febrero	6,99%	6,97%	7,03%	6,98%
Marzo	6,98%	6,97%	7,01%	6,96%
Abril	6,98%	6,95%	7,01%	6,97%
Mayo	6,97%	6,94%	6,98%	6,98%
Junio	6,96%	6,94%	6,98%	6,97%

Tabla 5.12: Regulación de Voltaje en el Punto Crítico con Soluciones Aplicadas

5.4 Etapa IV: Regulador de Voltaje y Reforzamiento de Línea de Distribución

5.4.1 Resultados

Con todas las soluciones implementadas y funcionando al mismo tiempo, se observan los siguientes valores de voltajes en el poste 4-044122:

Tensión Media [V]	Tensión L-L	Tensión A-B	Tensión B-C	Tensión C-A
2024				
Enero	21.831,79	21.835,35	21.827,22	21.832,80
Febrero	21.832,83	21.836,06	21.827,85	21.834,57
Marzo	21.834,21	21.836,87	21.828,46	21.837,29
Abril	21.834,90	21.838,28	21.831,29	21.835,12
Mayo	21.835,89	21.839,89	21.832,75	21.835,02
Junio	21.836,46	21.839,41	21.833,62	21.836,36

Tabla 5.13: Voltajes Medios en Punto Crítico con Soluciones Aplicadas

Finalmente, de acuerdo con los voltajes en el poste final del reforzamiento quedaron de la siguiente manera en el año 2024:

Regulación de Tensión	Regulación de Tensión Promedio	Regulación de Tensión A-B	Regulación de Tensión B-C	Regulación de Tensión C-A
2024				
Enero	5,08%	5,06%	5,10%	5,07%
Febrero	5,07%	5,06%	5,10%	5,07%
Marzo	5,07%	5,06%	5,09%	5,06%
Abril	5,07%	5,05%	5,08%	5,06%
Mayo	5,06%	5,04%	5,08%	5,07%
Junio	5,06%	5,05%	5,07%	5,06%

Tabla 5.14: Regulación de Voltaje en el Punto Crítico con Soluciones Aplicadas

Capítulo 6 Análisis de Técnico - Económico

6.1 Caso Base

En un inicio, la línea de distribución era débil en cuanto a capacidad, ya que estaba limitada por la regulación de voltaje, que se encontraba en 8% que, a su vez, es el límite que exige la normativa técnica aplicable. Podemos visualizar que el desarrollo de proyectos para mejoras está sujeto a los mismos límites normativos, ya que no existía una previsión por parte de la empresa de distribución, incluso cuando las pérdidas técnicas suponen una pérdida económica de más de 70 mil dólares al año.

6.2 Caso con Regulador de Voltaje

Con la instalación de estos elementos, la regulación de tensión mejoró a valores que se encontraban entre 7,14% y 7,20%, lo cual se encuentra dentro del rango que se necesita de acuerdo con la Norma Técnica, y por tanto es una solución que cumple con las exigencias legales. Por otra parte, las pérdidas técnicas se encontraban dentro de los valores estimados en el proyecto inicial, cercano a los 270kW, que corresponden a pérdidas de casi 120 mil dólares al año.

Para el caso de estudio, la instalación del regulador de tensión fue necesaria, incluso cuando las pérdidas técnicas aumentaran en relación con el caso base, ya que la regulación normativa no permite extender los plazos exigidos. En caso de no cumplir con los plazos o límites establecidos en las variables eléctricas, la Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC), puede cursar multas que llegan a un máximo de 120.000 UTM (8 millones de dólares).

6.3 Caso con Reforzamiento de la Línea de Distribución

En el caso 3, la regulación de Voltaje se encuentra dentro de la banda permitida por la Norma técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución, ya que se encontraba entre 6,99% y 6,96%. Pero, la mejora más significativa es la disminución de las pérdidas

técnicas, que se encuentran en torno a los 150kW por año, lo que equivale a un gasto anual de 70 mil dólares, casi 50 mil dólares menos que con la solución del Regulador de Tensión sin reforzamiento de la línea.

En esta situación, se observa que el proyecto cumple con las expectativas comerciales de la empresa, pero al implementar todas las soluciones al mismo tiempo el efecto sería mucho mayor.

6.4 Caso con Regulador de Tensión y Reforzamiento de la Línea de Distribución

Finalmente, en el caso 4, la regulación de Voltaje se encuentra en cerca de un 5%, lo cual es un avance notable hacia un sistema eléctrico robusto y estable, con capacidad de carga disponible importante. Existe un 3% de regulación disponible para nuevas conexiones y cargas importantes.

El proyecto completo supuso una inversión de 273 mil dólares en el reforzamiento de la línea y considerando, además, que el regulador de voltaje estaba disponible como un activo pasivo en las instalaciones de CGE, se obtuvieron resultados tan buenos, que ni siquiera estaban considerados en las estimaciones iniciales.

Capítulo 7 Conclusiones

El presente estudio nos permite adentrarnos en los procesos técnicos que desembocan en evaluaciones económicas, para obtener un sistema de distribución confiable.

Se observa una mejora considerable en la capacidad de potencia en el alimentador Piedra Colgada. El conductor instalado en forma paralela tiene una capacidad de 400 Amperes, los cuales se suman a la capacidad existente, por lo que el máximo de conducción quedó en más de 700 Amperes. Esto hace que la potencia total de transmisión sea casi el doble a la capacidad disponible antes del proyecto.

En cuanto al Voltaje de la línea de distribución, podemos ver que el reforzamiento de la línea y el regulador de voltaje cumplieron con los valores que especifica la Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución. Ambas soluciones permitieron tener la Regulación de Voltaje en torno a un 7%, y la NT exige un 8%. Finalmente, el reforzamiento de la línea permite un mayor rango de operaciones en conexiones futuras. Sin embargo, con las 2 soluciones aplicadas al mismo tiempo podríamos tener valores aun mejores.

Finalmente, tener un sistema de distribución robusto que permita abastecer a grandes cargas, sin afectar a los clientes residenciales más alejados de la fuente del alimentador, es el resultado de las mejoras mencionadas anteriormente. La Regulación de Voltaje y la Capacidad de Potencia actuales contribuyen de forma favorable a la estabilidad del sistema.

Bibliografía

[1] CNE 2019, Norma Técnica de Coordinación y Operación del Sistema Eléctrico Nacional

<https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2023/06/Norma-Tecnica-de-Coordinacion-y-Operacion-Capitulo-sobre-la-Declaracion-de-Costos-Variables-2.pdf>

[2] CGE 2023, Estudio de factibilidad eléctrica

<https://www.cge.cl/wp-content/uploads/2023/07/Proceso-de-factibilidad-individual.pdf>

[3] CGE 2020, Formulario de Factibilidad

<https://www.cge.cl/wp-content/uploads/2020/02/Formulario-factibilidad.pdf>

[4] CNE 2023, Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución

<https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2019/12/Norma-T%C3%A9cnica-de-Calidad-de-Servicio-para-Sistemas-de-Distribuci%C3%B3n.pdf>

[5] CNE 2019, NT Netbilling, Norma Técnica de Conexión y Operación de Equipamientos de Generación

<https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/08/Norma-T%C3%A9cnica-Netbilling-2019.pdf>

[6] CNE 2019, NT Netbilling, Norma Técnica de Conexión y Operación de Equipamientos de Generación

<https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2015/06/NT-SSMM-2006.pdf>

[7] CNE 2024, Norma Técnica de Conexión y Operación de PMGD en Instalaciones de Media Tensión

<https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2024/02/NTCO-PMGD-Febrero-2024.pdf>

[8] Reguladores de Tensión EATON, Definición

<https://www.eaton.com/cl/es-mx/products/medium-voltage-power-distribution-control-systems/voltage-regulators/voltage-regulators--fundamentals-of-voltage-regulators.html>

[9] Reguladores de Tensión EATON, Manual

<https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/medium-voltage-power-distribution-control-systems/voltage-regulators/vr-32-voltage-regulator-with-quick-drive-tap-changer-instructions-mn225008es.pdf>

[10] Controlador CL-7 para el Regulador de Voltaje EATON

<https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/medium-voltage-power-distribution-control-systems/voltage-regulators/cl-7-regulator-control-instructions-mn225003en.pdf>

[11] Banco de Condensadores EATON, Definición

<https://www.eaton.com/cl/es-mx/products/medium-voltage-power-distribution-control-systems/power-capacitors/fundamentals-of-power-capacitors.html>

[12] CGE 2022, Tarifa en Alta Tensión AT 4.3

<https://www.cge.cl/informacion-comercial/tarifas-y-procesos-tarifarios/>

[13] Poder Judicial, 2024, Multa a CGE por incumplimiento de Norma Técnica

<https://www.pjud.cl/prensa-y-comunicaciones/noticias-del-poder-judicial/116363>