



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

EVALUACIÓN DE UN COMPENSADOR ESTÁTICO DE REACTIVOS EN REDES DE  
DISTRIBUCIÓN CON CENTRALES PMGD

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

FERNANDO JAVIER BEAS RABAH

PROFESOR GUÍA:  
PEDRO MIQUEL DURÁN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
ARIEL VALDENEGRO ESPINOZA  
RODRIGO PALMA BEHNKE

SANTIAGO DE CHILE  
2014

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA  
POR: FERNANDO JAVIER BEAS RABAH  
FECHA: 15/01/2014  
PROFESOR GUÍA: PEDRO MIQUEL DURÁN

## EVALUACIÓN DE UN COMPENSADOR ESTÁTICO DE REACTIVOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN CON CENTRALES PMGD

La instalación de una central PMGD en un alimentador de distribución con mayor consigna de generación que demanda del alimentador, lejana de la cabecera y con una importante concentración de carga en los sectores aledaños, invierte el flujo de potencia activa implicando una fuerte dependencia del control de voltaje con el despacho de la central. La central solo puede controlar la tensión estableciendo un despacho de potencia reactiva que mantenga la magnitud de las tensiones en niveles dentro de la franja normativa. Esto disminuye los ingresos de la central debido a las ventas de energía y potencia. Cuando la central es desconectada abruptamente, se pierde la capacidad de control de tensión en el alimentador provocando desconexiones automáticas de cargas debido al bajo voltaje.

La solución desarrollada para resolver estos problemas es instalar de forma anexa a la central un compensador estático de reactivos para sistemas de distribución (DSTATCOM) que inyecte o absorba de forma independiente los reactivos necesarios para controlar la magnitud de las tensiones en las barras en el alimentador. Para evaluar la factibilidad técnica de la instalación del DSTATCOM se comprueba que ante los problemas señalados, la normativa chilena referente a niveles de tensión y suficiencia de elementos serie se cumple al conectar el dispositivo. Para evaluar la factibilidad económica, se compara el aumento de las ganancias por mayor venta de energía con el monto total de inversión.

Como resultado del trabajo de título, se concluye que la instalación del dispositivo DSTATCOM permite controlar la magnitud de la tensión en barras manteniéndolas dentro de la franja normativa. Además, el beneficio de instalar un dispositivo DSTATCOM posibilita el incremento de las ventas de potencia y energía al permitir regular el voltaje a través del dispositivo estático. Así, la central generadora puede despachar su unidad a su potencia activa máxima y con un factor de potencia igual a uno ( $f.p = 1$ ). En el caso práctico revisado en el presente trabajo, la central El Diuto conectada a la red de distribución de Coopelan, todas las inversiones son recuperadas en el quinto año luego del aumentar el punto de operación de la unidad generadora a su capacidad nominal máxima.

*Para Emilia,  
que me cambió el mundo con su sonrisa.*

## Tabla de contenido

Tabla de contenido .....	iii
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
1. Introducción .....	1
1.1. Fundamentos y contextualización del problema.....	1
1.2. Objetivos Generales .....	2
1.3. Objetivos Específicos .....	2
2. Marco Teórico.....	3
2.1. Tetrapolo .....	3
2.2. Control de tensión - Curvas Nariz.....	4
2.3. Diagrama de operación de generadores sincrónicos .....	6
2.3.1. Límites en un diagrama de operación .....	6
2.4. Compensador Estático de Reactivos.....	9
2.4.1. DSTATCOM.....	9
2.4.1. Ventajas de un DSTATCOM .....	11
3. Evaluación de un compensador estático de reactivos en redes de distribución con una central PMGD conectada .....	12
3.1. Antecedentes y supuestos .....	12
3.1.1. Representación del alimentador de distribución .....	12
3.1.2. Representación de la central PMGD.....	13
3.1.3. Diagrama unifilar del alimentador .....	14
3.1.4. Modelación de la Demanda .....	16
3.1.5. Modelación de la Generación .....	17
3.1.6. Modelación del compensador DSTATCOM .....	17
3.2. Evaluación del cumplimiento normativo de magnitudes de tensión y suficiencia de capacidad de transmisión.....	17
3.2.1. Criterios de evaluación y normativa considerada.....	17
3.2.2. Resultados y análisis técnico .....	19
3.2.2.1. Evaluación correspondiente al escenario previo a la instalación del DSTATCOM.....	19

3.2.2.2.	Evaluación para escenario con equipo DSTATCOM en servicio.....	21
3.2.2.3.	Evaluación escenario post instalación equipo DSTATCOM y condensador en subalimentador Mortandad.....	22
3.2.3.	Factibilidad de generación de central El Diuto a 3,4 MW y f.p. = 1. ....	23
3.2.4.	Conclusiones de la evaluación del cumplimiento normativo. ....	25
3.3.	Evaluación Económica.....	25
3.3.1.	Aumento de la venta de potencia y energía .....	25
3.3.2.	Costo del equipamiento .....	26
3.3.3.	Comparación.....	26
4.	Conclusiones.....	28
5.	Glosario .....	29
6.	Bibliografía .....	30

## Índice de tablas

Tabla 3-1: Características de unidad generadora central El Diuto.....	13
Tabla 3-2: Características de transformador en central El Diuto e interconexión con alimentador Canteras. ....	14
Tabla 3-3: Escenarios de Demanda. ....	16
Tabla 3-4: Resultados de tensión y suficiencia para un escenario con central conectada y DSTATCOM fuera de servicio. ....	20
Tabla 3-5: Resultados de tensión y suficiencia para un escenario con central conectada y DSTATCOM en servicio. ....	21
Tabla 3-6: Resultados de tensión y suficiencia para un escenario con central conectada, DSTATCOM en servicio y condensador conectado. ....	23
Tabla 3-7: Resultados de tensión y suficiencia para un escenario con central en consigna 3,4 MW, DSTATCOM en servicio y condensador conectado. ....	24
Tabla 3-8: Incremento de las ventas debido al aumento de consigna de la central. ....	26
Tabla 3-9: Costo de los equipos a instalar. ....	26
Tabla 3-10: Comparación costo y beneficio de la instalación de un equipo DSTATCOM. ....	27

## Índice de figuras

Figura 2-1: Tetrapolo. [1] .....	3
Figura 2-2: Curva nariz. [1].....	4
Figura 2-3: Caso 1, Central PMGD en servicio. ....	5
Figura 2-4: Caso 2, Central PMGD fuera de servicio. ....	5
Figura 2-5: Diagrama de operación para una unidad con mínimo y máximo técnico. [1]	8
Figura 2-6: DSTATCOM conectado a la red. [3].....	10
Figura 2-7: Modelo simplificado de un DSTATCOM. [3] .....	10
Figura 3-1: Descripción geográfica de las redes del alimentador Canteras, subalimentador Mortandad y central El Diuto modeladas. ....	15
Figura 3-2: Modelación del alimentador Canteras. ....	16

# 1. Introducción

## 1.1. Fundamentos y contextualización del problema

En redes de distribución lo usual es que el flujo de potencia en un alimentador de media tensión fluya desde la subestación AT/MT hacia la carga. La instalación de una central PMGD<sup>1</sup> con mayor consigna de generación que demanda del alimentador, lejana de la cabecera y con una importante concentración de carga en los sectores aledaños, invierte el flujo de potencia activa implicando una fuerte dependencia del control de voltaje con el despacho de la central.

En este caso, la consigna de generación de la central debe considerar un despacho de potencia reactiva para controlar la tensión en la barra de conexión que adecúe dentro de la franja normativa las tensiones en barras aledañas. Esto trae como consecuencia una limitación de la máxima potencia activa que se puede generar, disminuyendo el nivel de ingresos percibidos por venta de energía y potencia.

Otro problema encontrado es que el voltaje en las barras del alimentador desciende abruptamente cuando la central PMGD se desconecta de forma intempestiva, ya que el control de tensión se realiza en la cabecera del alimentador y no es suficientemente rápido para normalizar la magnitud de las tensiones, provocando la desconexión automática de cargas por la operación de protecciones de bajo voltaje.

Además, esta variación en el voltaje infringe las normas chilenas para las centrales PMGD, donde solo se permite un nivel moderado en la variación de las tensiones cuando dicha central es conectada o desconectada.

Para solucionar estos problemas se evalúa la instalación de un compensador estático de reactivos para sistemas de distribución (DSTATCOM<sup>2</sup>) que inyecte o absorba de forma independiente a la central PMGD los reactivos necesarios para controlar la magnitud de las tensiones en las barras en el alimentador.

---

<sup>1</sup> PMGD: Pequeño Medio de Generación Distribuido.

<sup>2</sup> Purewave® DSTATCOM es una marca registrada de S&C Electric Company.



## **1.2. Objetivos Generales**

Comprobar si el dispositivo de compensación estático de reactivos es capaz de controlar tensión en barras del alimentador, impidiendo el desprendimiento automático de carga por baja tensión cuando la central se desconecta intempestivamente, además de permitir a la central PMGD el aumento de la consigna de potencia activa mediante la fijación del factor de potencia de la unidad generadora ( $f.p. = 1$ ).

## **1.3. Objetivos Específicos**

- Modelar las redes eléctricas de las redes de distribución a simular.
- Evaluar la factibilidad técnica de la instalación de un compensador estático de reactivos.
- Comprobar que se cumplen las normas de tensión y suficiencia.
- Realizar una comparación costo-beneficio de la instalación de un compensador estático de reactivos.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Tetrapolo

En la Figura 2-1 se muestra un sistema que puede ser representado por un circuito equivalente de 4 terminales (tetrapolo).



Figura 2-1: Tetrapolo. [1]

De esta representación, se puede definir la siguiente función de transferencia:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Donde  $V_1$  e  $I_1$  son los parámetros del extremo transmisor,  $V_2$  e  $I_2$  del extremo receptor y A, B, C y D son complejos que representan las características de transferencia del sistema. En particular se tiene la siguiente nomenclatura:

- $A = A \angle \alpha = \frac{V_1}{V_2}$ , para  $I_2 = 0$ .
- $B = B \angle \beta = \frac{V_1}{I_2}$ , para  $V_2 = 0$ .
- $C = C \angle \gamma = \frac{I_1}{V_2}$ , para  $I_2 = 0$ .
- $D = D \angle \delta = \frac{I_1}{I_2}$ , para  $V_2 = 0$ .

Luego si se considera  $\theta$  como el ángulo de adelanto de  $V_1$  respecto a  $V_2$ , las ecuaciones de potencia activa y reactiva en el extremo receptor son:

$$P_2 = \frac{V_1 V_2}{B} \cos(\beta - \theta) - \frac{A}{B} V_2^2 \cos(\beta - \alpha) \quad (2.1)$$

$$Q_2 = \frac{V_1 V_2}{B} \sin(\beta - \theta) - \frac{A}{B} V_2^2 \sin(\beta - \alpha) \quad (2.2)$$

## 2.2. Control de tensión - Curvas Nariz

Utilizando las ecuaciones de potencia activa y reactiva mostradas en la sección 2.1, y considerando un factor de potencia ( $\cos \varphi$ ) constante se tiene la siguiente relación entre P y V.

$$P_2^2 + \frac{2A}{B} P_2 V_2^2 \cos \varphi \cdot \cos(\beta - \alpha - \varphi) - \frac{V_2^2}{B^2} (V_1^2 - A^2 V_2^2) \cos^2 \varphi = 0$$

La relación entre  $P_2$  y  $V_2$ , paramétrica en  $\cos \varphi$  se conoce como la "curva nariz" y tiene la forma mostrada en la Figura 2-2.

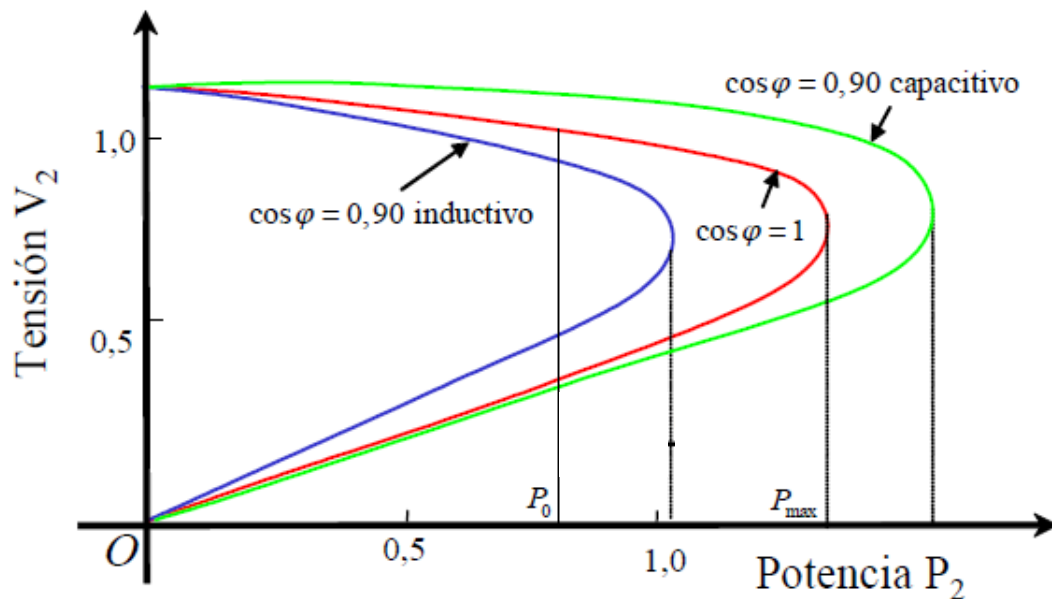
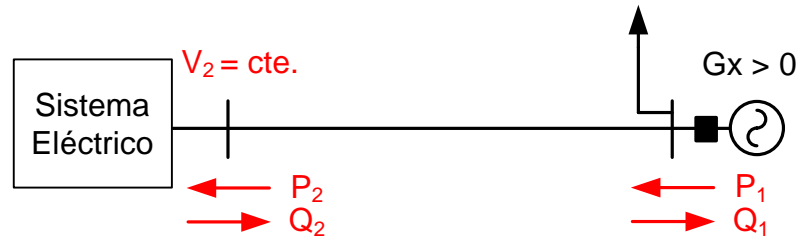


Figura 2-2: Curva nariz. [1]

Luego, ante variaciones en la potencia activa demandada ( $P_2$ ), la forma de controlar la tensión en el alimentador es variando el factor de potencia  $\cos \varphi$ , es decir, el despacho de reactivos local en el sistema. Para el caso particular de una red de distribución y una

central PMGD conectada en su extremo, se evalúan principalmente dos casos problemáticos:

Caso 1: Central PMGD en servicio.

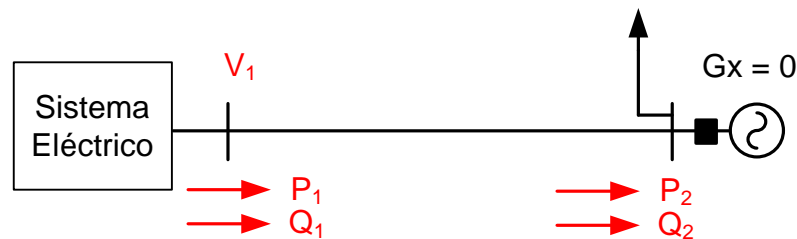


**Figura 2-3: Caso 1, Central PMGD en servicio.**

El voltaje de la cabecera del alimentador de distribución es controlada por un cambiador de taps bajo carga, por lo cual se considera con magnitud constante. Al estar la central en servicio, los reactivos fluyen desde la cabecera del alimentador hasta la central siendo absorbidos por esta última.

Esta condición establece un límite a la potencia activa que es posible inyectar por la central PMGD debido a la necesidad de controlar la tensión mediante la absorción de reactivos.

Caso 2: Central PMGD fuera servicio.



**Figura 2-4: Caso 2, Central PMGD fuera de servicio.**

Cuando la central está fuera de servicio, el nodo transmisor se encuentra ahora en la cabecera del alimentador, invirtiendo el flujo de potencia activa respecto del caso anterior.

Esta condición establece que el control de tensión sólo depende del cambiador de taps bajo carga, de operación lenta comparada a la variación del voltaje en el sistema

cuando la central es desconectada intempestivamente o sufre una variación abrupta de la demanda en el alimentador, lo cual desencadena desconexión de cargas en el alimentador.

Los problemas encontrados en los casos 1 y 2, dejan ver la necesidad de contar con un dispositivo que independiente de la operación de la central, regule el despacho de reactivos de forma dinámica ante variaciones abruptas en el voltaje.

### **2.3. Diagrama de operación de generadores sincrónicos**

Los generadores son capaces de generar potencia activa y reactiva, permitiendo el control de tensión en barras realizando una combinación efectiva en el despacho de P y Q, pero no todas las combinaciones de potencia activa y reactiva son posibles, éstas tienen limitantes que dependen de límites térmicos o de estabilidad. La zona de operación factible de despacho de potencia activa y reactiva se ve reflejada en un "diagrama de operación" y permite reflejar visualmente los límites técnicos de la unidad generadora.

#### **2.3.1. Límites en un diagrama de operación**

Los límites que la mayoría de las unidades generadoras poseen son:

1. Entrega de potencia activa: Al tratarse de un generador, el mínimo valor que puede tener P es cero. En algunas máquinas térmicas, existe un mínimo técnico asociado, luego  $P \geq P_{\min}$ .

2. Máxima potencia activa: La máxima potencia activa generada ocurre cuando el despacho de reactivos es cero, por lo tanto,  $P = S_{\text{nominal}}$ . Algunas máquinas presentan limitaciones propias que impiden llegar a este número y cuentan con una potencia activa máxima diferente a la potencia aparente nominal, es decir,  $P \leq P_{\text{máx}}$ .

3. Máxima corriente de la armadura: La corriente de la armadura tiene un máximo técnico que depende del calentamiento del estator, por lo tanto existe un límite de P y Q asociado a este término. Luego, si se tiene  $I < I_{\text{máx}} \rightarrow VI < VI_{\text{máx}} \rightarrow S < S_{\text{máx}}$ , entonces  $P^2 + Q^2 < S_{\text{máx}}^2$ .

Las otras limitantes provienen de las ecuaciones electromecánicas del generador. Estas son:

$$P = \frac{VE \cdot \sin \delta}{X_S} \quad (2.3)$$

$$Q + \frac{V^2}{X_S} = \frac{VE \cdot \cos \delta}{X_S} \quad (2.4)$$

Elevando al cuadrado y sumando ( 2.3) y ( 2.4) se tiene la siguiente ecuación de circunferencia con centro  $(-\frac{V^2}{X_S}, 0)$ :

$$P^2 + \left(Q + \frac{V^2}{X_S}\right)^2 = \left(\frac{VE}{X_S}\right)^2 \quad (2.5)$$

Luego, las siguientes limitantes son:

4. Máxima corriente de excitación: La corriente de excitación tiene un máximo técnico que depende del calentamiento del rotor, por lo tanto, existe un límite de P y Q asociado a este término. Luego, si se tiene  $I_{campo} < I_{campo \text{ máx}} \rightarrow E < E_{máx}$ , es decir:

$$P^2 + \left(Q + \frac{V^2}{X_S}\right)^2 < \left(\frac{VE_{máx}}{X_S}\right)^2 \quad (2.6)$$

5. Mínima corriente de excitación: Debido a la presencia de flujo remanente, en la práctica no es factible alcanzar el límite teórico de  $E = 0$ , es decir, existe un  $E_{min}$  que se debe considerar. Por lo tanto, la restricción es:

$$\left(\frac{VE_{min}}{X_S}\right)^2 < P^2 + \left(Q + \frac{V^2}{X_S}\right)^2 \quad (2.7)$$

6. Límite de estabilidad permanente: El generador puede entregar potencia máxima cuando  $\delta=90^\circ$ . Sin embargo, si existe alguna perturbación tal que la potencia mecánica no pueda entregarse a toda la red, la máquina se acelera y puede perder sincronismo. Luego un margen de seguridad  $\delta_{máx}$  es utilizado.

Luego si se tiene que:

$$P = \left( Q + \frac{V^2}{X_S} \right) \tan \delta \quad (2.8)$$

Entonces:

$$P < \left( Q + \frac{V^2}{X_S} \right) \tan \delta_{m\acute{a}x} \quad (2.9)$$

Juntando todas las limitantes señaladas, se tiene que el diagrama de operación de un generador es como se muestra en la Figura 2-5.

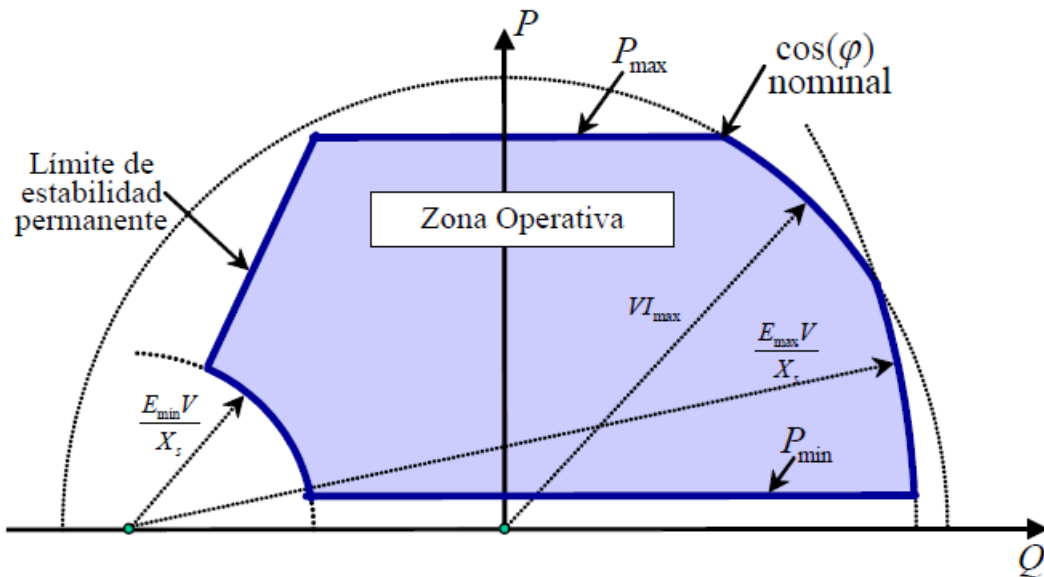


Figura 2-5: Diagrama de operación para una unidad con mínimo y máximo técnico. [1]

El diagrama de operación permite conocer los puntos de operación de la unidad generadora. Un caso particular se encuentra cuando no existe una limitante de potencia máxima activa en la turbina, por lo cual la central es capaz de generar energía con un factor de potencia igual a la unidad (f.p.=1). En este escenario, la potencia activa es máxima (por ende, aumenta la venta a costa de no poder despachar reactivos ni controlar tensión). Como solución es necesario implementar un despacho de reactivos independiente de la unidad generadora.

## **2.4. Compensador Estático de Reactivos**

Un equipo de compensación estática o sistema flexible de transmisión de corriente alterna (FACTS por su sigla en inglés) es un equipo utilizado para la transmisión de corriente alterna incorporando elementos de electrónica de potencia. En este estudio en particular se utilizará un dispositivo llamado STATCOM.

### **2.4.1. DSTATCOM**

Usualmente los dispositivos de compensación están basados en sistemas de conmutación que regulan el despacho de reactivos mediante el switcheo de arreglos de reactores y/o condensadores controlados por tiristores. Un STATCOM, a diferencia de aquellos dispositivos, no está basado en la conmutación. La compensación de los reactivos se realiza mediante el control de la tensión relativa entre el voltaje del sistema y el voltaje de salida del equipo.

Un STATCOM genera un voltaje AC controlable atrás de la reactancia del transformador acoplador, de modo que la diferencia de voltaje en la reactancia produce un intercambio de potencia activa y reactiva entre el STATCOM y el sistema. El control primario del inversor es tal que se regula el flujo de corriente reactiva a través del dispositivo, ajustando el ángulo de fase entre el voltaje del inversor y el voltaje de línea se ajusta dinámicamente, de esta forma absorbiendo o inyectando potencia reactiva en el punto de conexión. [2] Para sistemas de bajo voltaje se utilizan compensadores estáticos de distribución DSTATCOM (Distribution STATCOM por su sigla en inglés). En la Figura 2-6 se muestra la representación del DSTATCOM conectado al sistema.



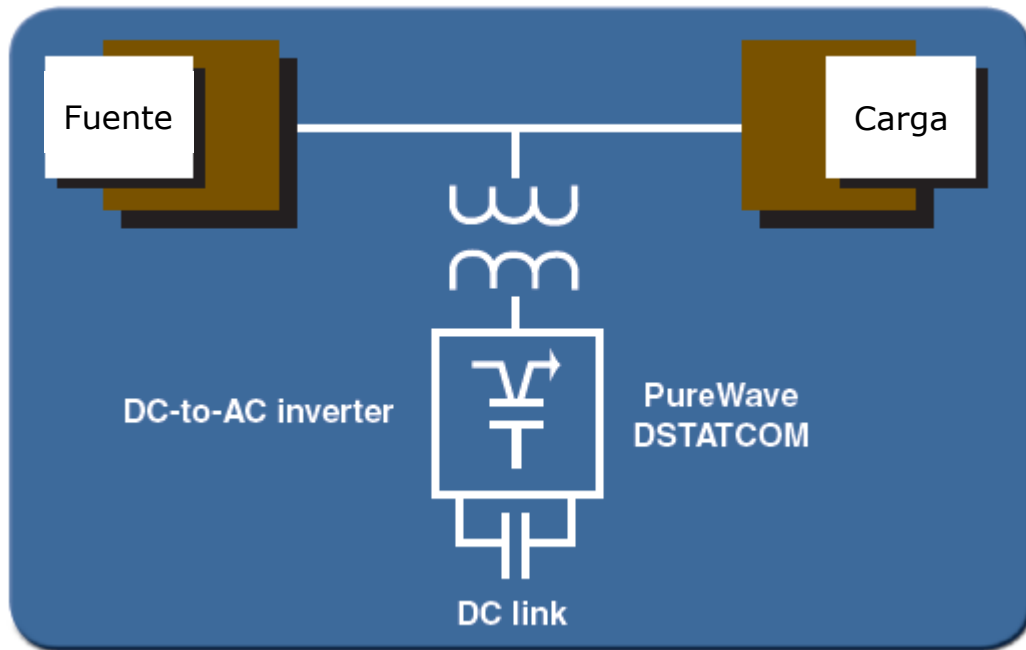


Figura 2-6: DSTATCOM conectado a la red. [3]

El circuito equivalente del DSTATCOM se presenta en la Figura 2-7 y se identifican tres elementos fundamentales, la tensión fuente ( $V_S$  o Source), la inductancia  $L$  (que es la simplificación del transformador acoplador y un filtro interno) y la tensión variable  $V_d$ . La fase de la tensión variable es cercana a la fase de la tensión  $V_S$ , por lo cual se crea un voltaje  $V_L = V_S - V_d$ . Este valor típicamente es pequeño, alrededor de un 5 a un 20%.

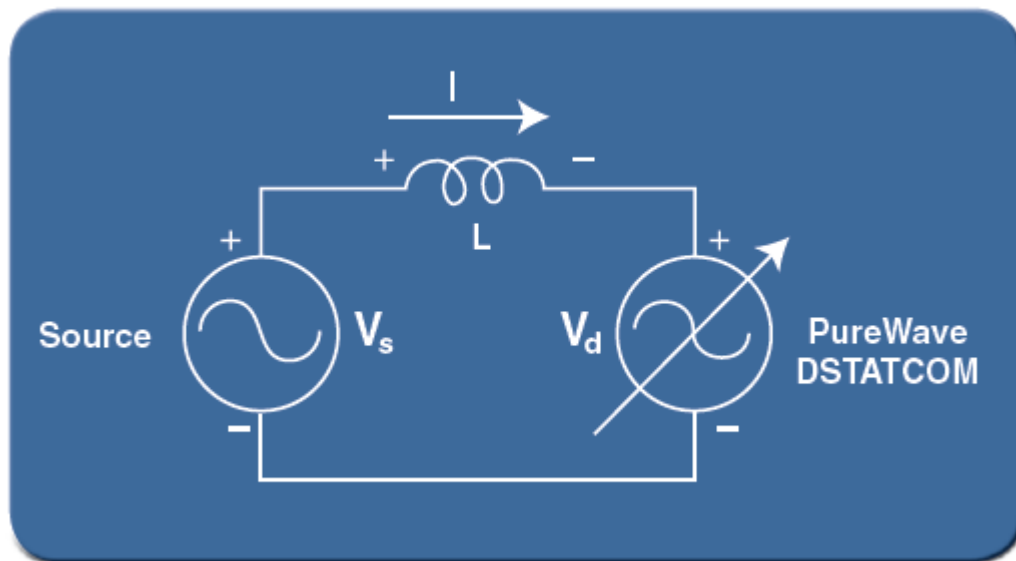


Figura 2-7: Modelo simplificado de un DSTATCOM. [3]

Si  $V_S > V_d$ , la corriente  $I_L$  retrasa a  $V_S$  en  $90^\circ$ , luego el DSTATCOM se comporta como un generador de corriente reactiva inductiva.

Si  $V_S < V_d$ , la corriente  $I_L$  adelanta a  $V_S$  en  $90^\circ$ , luego el DSTATCOM se comporta como un generador de corriente reactiva capacitiva.

#### **2.4.1. Ventajas de un DSTATCOM**

La principal ventaja de un dispositivo STATCOM, en comparación a un dispositivo conmutador, es que permite un control dinámico de la potencia reactiva, ofreciendo una mayor velocidad de respuesta, mejor estabilidad y un buen manejo de perturbaciones dinámicas. En el caso particular de este estudio, se desea que la respuesta del dispositivo compensador de reactivos sea lo suficientemente rápido para atenuar variaciones de tensión en la red ante la salida intempestiva de la central PMGD en el alimentador o variaciones bruscas de demanda, lo cual cataloga al DSTATCOM como el dispositivo indicado para solucionar estos problemas.

### **3. Evaluación de un compensador estático de reactivos en redes de distribución con una central PMGD conectada**

#### **3.1. Antecedentes y supuestos**

En esta sección se presentan los antecedentes necesarios para la modelación de una red de distribución y una central PMGD conectada en ella. Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron datos reales de la distribuidora Coopelan (Cooperativa de los Ángeles) y la central PMGD El Diuto que está conectada en un alimentador de la empresa de distribución.

Además se exponen otros antecedentes necesarios para el desarrollo del estudio.

##### **3.1.1. Representación del alimentador de distribución**

Para representar el alimentador de distribución, se utiliza como base los datos del alimentador Canteras y el subalimentador Mortandad, pertenecientes a Coopelan, y las instalaciones de la central El Diuto mediante el software de simulación Powerfactory 14.1 de DlgSILENT.

Para modelar la red de media tensión se utilizaron los antecedentes facilitados por la distribuidora que se mencionan a continuación:

- Base de datos SEC<sup>3</sup> [4] con la descripción y ubicación geográfica de todos los tramos, postes, transformadores MT/BT que contiene el alimentador Canteras.
- Características particulares de instalaciones existentes, a saber: geometría de conductores en postación, capacidad y tensión en equipos de compensación, capacidad y consigna de reguladores de tensión, etc.
- Registro histórico (cada 15 min) de inyecciones de potencia en cabecera de alimentador Canteras para el periodo Enero 2009 – Agosto 2010.
- Consigna de tensión en barra Los Ángeles 13,2kV.

---

<sup>3</sup> Base de datos SEC: Información de redes enviada por Coopelan a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).

A partir de estos antecedentes se construyó el modelo básico para análisis de flujo de potencia, que abarca lo siguiente:

- Descripción completa de las instalaciones de alimentador Canteras en PowerFactory DIgSILENT 14.1.
- Proyección de tres escenarios de demanda para el alimentador Canteras.

### 3.1.2. Representación de la central PMGD

A la red resultante de lo indicado en 3.1.1 se agregó la modelación de la central El Diuto y las instalaciones de interconexión asociadas. Para esto se utilizaron los datos entregados por Coopelan, que se describen en la Tabla 3-1 y en la Tabla 3-2.

Tabla 3-1: Características de unidad generadora central El Diuto.

Información	Generador El Diuto	Unidad
Marca	Indar	-
Modelo	LSA-1120-S/18	-
Potencia Nominal	3400	KVA
Tensión nominal	6	kV
Nº de Fases	3	-
Nº de Polos	18	-
Aislamiento	F	-
Factor de potencia	0.95	-
Frecuencia nominal	50	Hz
Velocidad angular nominal	333.333	rpm
<i>Parámetros eléctricos</i>		
Xd	1.417	p.u.
Xd'	0.326	p.u.
Xd''	0.231	p.u.
Xd'' sat	0.204	p.u.
Xq	1.391	p.u.
Xq'	1.391	p.u.
Xq''	0.293	p.u.
X2	0.258	p.u.
X0	0.069	p.u.
Td'	0.31	s
Td''	0.02	s
Td0'	1.33	s

**Tabla 3-2: Características de transformador en central El Diuto e interconexión con alimentador Canteras.**

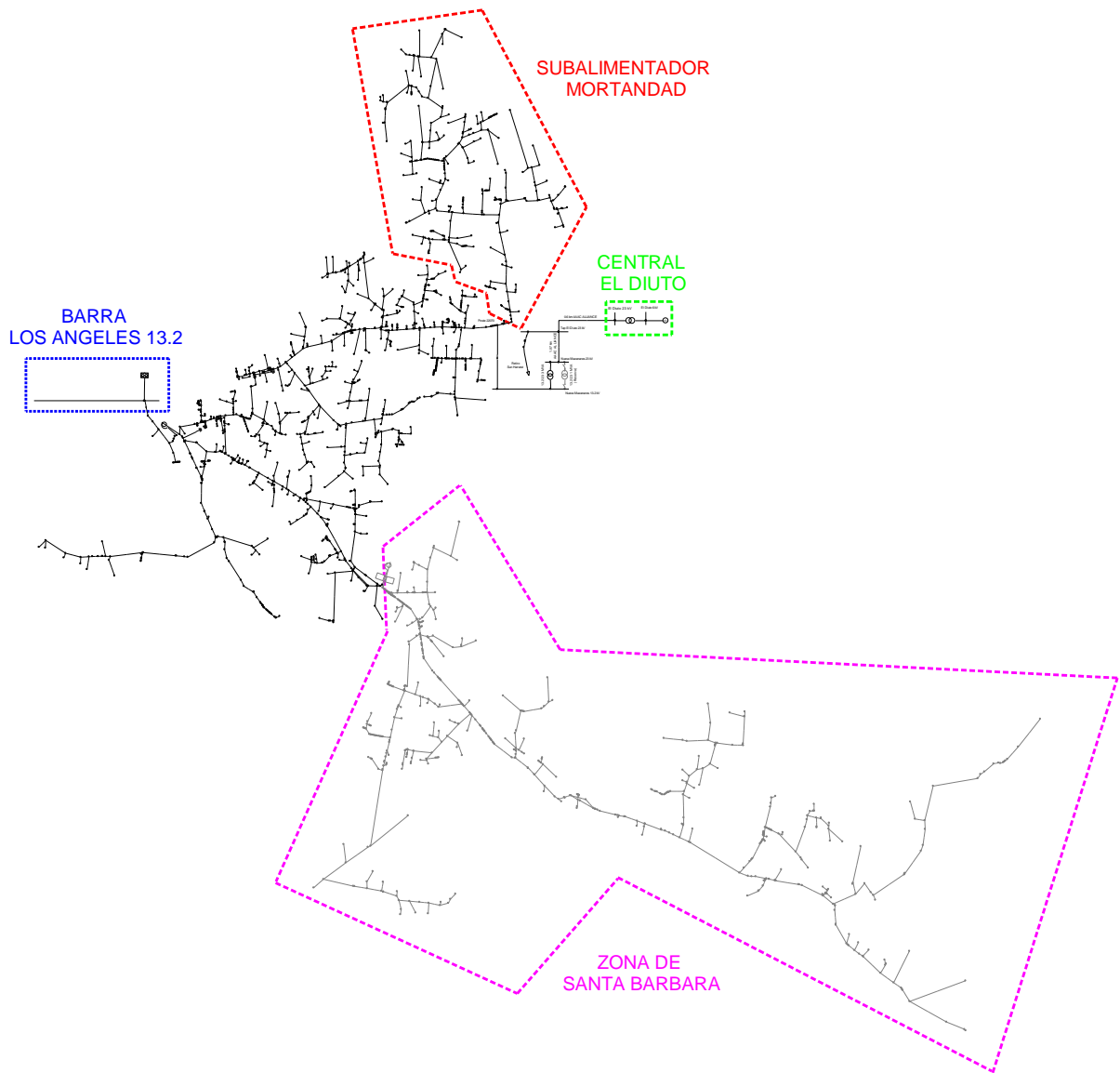
Información	Transformador central El Diuto 23/6 kV	Transformador Manzanar 23/13.2 kV	Unidad
Marca	Schaffner	Rhona	-
Potencia Nominal	4	4	MVA
Tensión nominal primaria	23	23	kV
Tensión nominal secundaria	6	13.2	kV
Tensión de c.c. Sec. Pos	5.65	5.4	%
Tensión de c.c. Sec. Cero	5.085	4.86	%
Grupo conexión	YNd1	Dyn1	-

El transformador Manzanar 23/13,2 kV indicado en Tabla 3-2, es utilizado como elemento serie para la interconexión del alimentador Canteras con la central El Diuto tal como se refleja en la Figura 3-2.

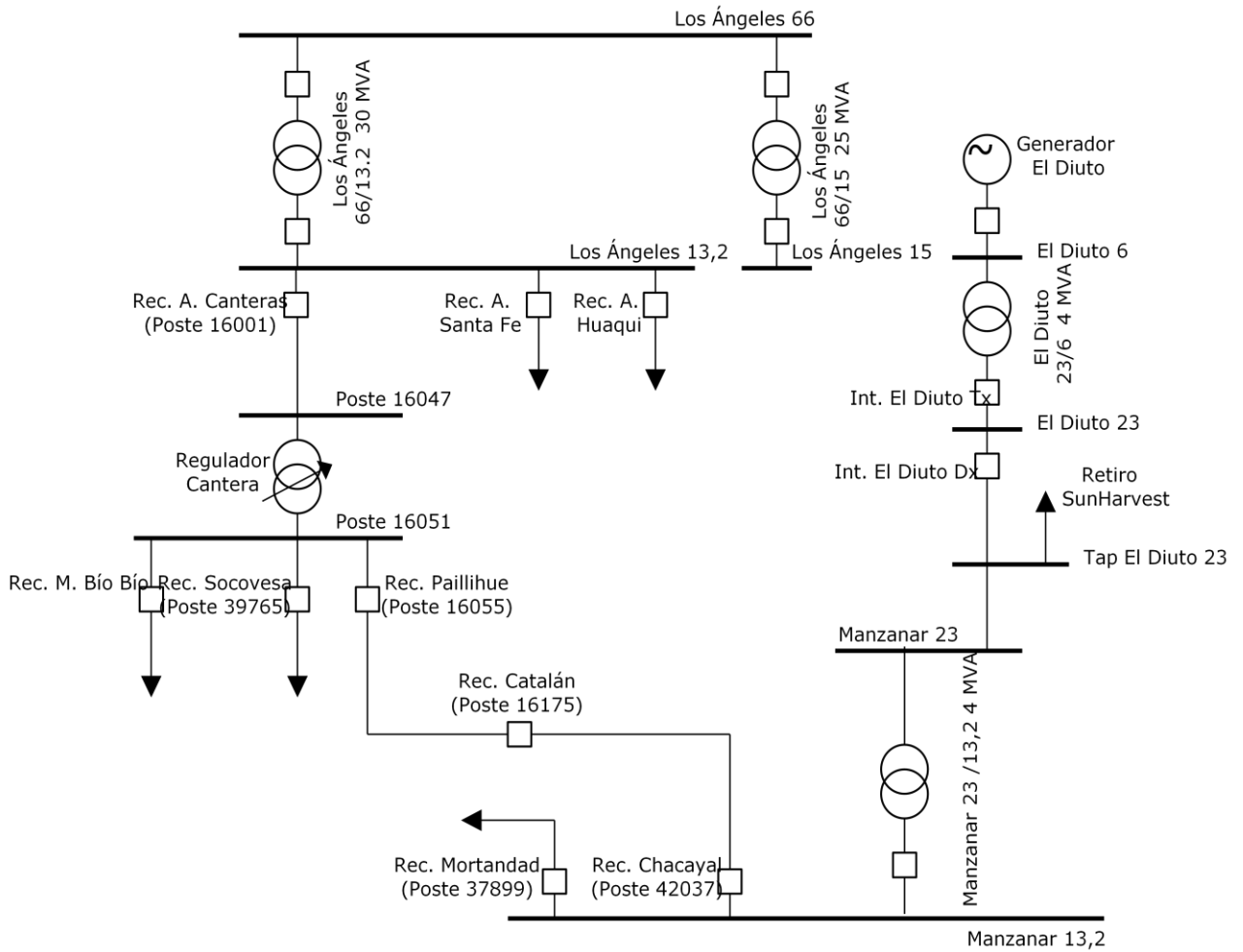
### 3.1.3. Diagrama unifilar del alimentador

En la Figura 3-1 se muestra la representación geográfica de las redes modeladas incluyendo a la central El Diuto. El alimentador Canteras en 13,2 kV nace en la barra de 13,2 kV de la subestación Los Ángeles y en su zona noroeste tiene conectado el subalimentador Mortandad. La zona de Santa Bárbara ubicada en la parte suroeste ya no forma parte del alimentador Canteras. En las cercanías de central El Diuto, en la barra Tap El Diuto 23kV, se encuentra conectado un retiro importante perteneciente a la empresa Sun Harvest.

La central El Diuto está conectada a las redes de 23 kV de Coopelan en la S/E Manzanar, que se ubica en las cercanías de la interconexión del Alimentador Canteras con el subalimentador Mortandad. Esta configuración se muestra con mayor detalle en la Figura 3-2.



**Figura 3-1: Descripción geográfica de las redes del alimentador Canteras, subalimentador Mortandad y central El Diuto modeladas.**



**Figura 3-2: Modelación del alimentador Canteras.**

### 3.1.4. Modelación de la Demanda

Con los datos facilitados por Coopelan, se realizó una aproximación de la demanda del alimentador Canteras a la actualidad y se confeccionan 3 escenarios de demanda tipo. Éstos se muestran en la Tabla 3-3.

**Tabla 3-3: Escenarios de Demanda.**

	Demanda Alta	Demanda Media	Demanda Baja	Unidad
P	4.126	2.354	1.125	kW
Q	1.592	0.908	0.434	kVAr

### **3.1.5. Modelación de la Generación**

La potencia nominal de la central El Diuto es de 3,4 MVA con un factor de potencia de 0,95, luego la potencia activa inyectada al sistema es de 3,25 MW. Si se considera un factor de planta de un 97% para la central, la potencia activa promedio es de 3,15 MW. Con el fin de evaluar las posibles condiciones fuera de norma, se considera un despacho de 3,15 MW.

Además se considera un escenario en el cual la central controla tensión en la barra El Diuto 6 kV (tensión 1,02 p.u.) cuando no exista el dispositivo compensador de reactivos y otro escenario en que la central genera con factor de potencia ( $f.p = 1$ ) cuando el dispositivo compensador esté conectado.

### **3.1.6. Modelación del compensador DSTATCOM**

Se modela el uso de un compensador estático de reactivos para redes de distribución (DSTATCOM) con una potencia reactiva máxima de +/- 1,25 MVar. Este dispositivo se conecta y controla la tensión en la barra 13,2 kV de la subestación Manzanar, próxima a la central El Diuto.

## **3.2. Evaluación del cumplimiento normativo de magnitudes de tensión y suficiencia de capacidad de transmisión**

### **3.2.1. Criterios de evaluación y normativa considerada**

El estudio se enfoca en la operación de régimen permanente de la red suponiendo en servicio la central El Diuto y conectado el dispositivo DSTATCOM. Se verificarán los estándares y límites operacionales determinados por la normativa vigente, a saber el Reglamento Eléctrico (DS327), la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio (NTSyCS) y la Norma Técnica de Conexión y Operación para PMGD (NTCO para PMGD).



Los criterios utilizados fueron los siguientes:

#### **A. Suficiencia de capacidad en instalaciones de transmisión**

Se evalúa la suficiencia de capacidad de las instalaciones o tramos serie de la red existente considerando la central en servicio. En este sentido la NTSyCS establece en su artículo 5-32 que *“EL CDC y los CC<sup>4</sup>, según corresponda, operarán los Elementos Serie manteniendo la corriente transportada en un valor equivalente inferior o igual al 100 % de la Capacidad de Transmisión en Régimen Permanente, tanto en Estado Normal como en Estado de Alerta”*. [5]

En el contexto de lo anterior, el análisis a efectuar utiliza como criterio de validación que los tramos serie de las instalaciones del alimentador Canteras no deben sobrepasar su capacidad nominal. Esto para los distintos estados operacionales de la red definidos por:

- La inyección de la central El Diuto (la central en servicio o desconectada de la red).
- El aporte o absorción de reactivos por parte del DSTATCOM (DSTATCOM en servicio o desconectado de la red).
- Nivel de demanda (Demanda alta o baja en el alimentador Canteras)

#### **B. Tensión en las barras, acorde con los requerimientos del Reglamento Eléctrico, la NTSyCS y la NTCO para PMGD.**

Se evalúa si los valores de tensión en las barras de la red se mantienen dentro del rango que establece la norma. En este sentido, el Reglamento Eléctrico (DS327) establece en su artículo 243 *“... Las variaciones u holguras permitidas de la tensión nominal en el punto de conexión, serán las siguientes:...b) En Media Tensión (MT): Excluyendo períodos con interrupciones de suministro, el valor estadístico de la tensión medido de acuerdo con la norma técnica correspondiente, deberá estar dentro del rango -6,0% a +6,0% durante el 95% del tiempo de cualquiera semana del año o de siete días consecutivos de medición y registro.”* [6] Análogamente, la NTSyCS en su artículo 5-25 indica que las instalaciones de transmisión con tensión nominal inferior a 200 kV deberán operarse en estado normal con tensiones 0,93 y 1,07 p.u. [5]

---

<sup>4</sup> CC: Centro de Control de cada central de generación  
CDC: Centro de Despacho y Control del CDEC

Dado lo anterior, el análisis efectuado considera que para dar cumplimiento a lo indicado en la normativa, en cualquier estado operacional de régimen permanente del sistema eléctrico bajo estudio, se deberá verificar que la tensión en las barras del alimentador Canteras deberá enmarcarse entre 0,94 p.u. y 1,06 p.u.

Adicionalmente a lo anterior, la NTCO para PMGD establece en su artículo 3-18 que *“...La elevación de tensión originada por los PMGD que operan en una red de media tensión de un SD (Sistema de Distribución) no debe exceder, en el punto de repercusión asociado a cada uno de ellos, el 6% de la tensión existente sin dichas inyecciones.”* [7]

Para efectos del estudio, esto último implica que las variaciones de las tensiones en las barras del alimentador Canteras con la central en servicio, no deberá ser superior a un 6% respecto de las tensiones del alimentador con la central fuera de servicio después de una desconexión intempestiva.

### **3.2.2. Resultados y análisis técnico**

Se evalúa el cumplimiento de los requerimientos técnicos mostrados en la sección 3.2.1, mediante la simulación de los escenarios extremos de demanda (alta y baja) y la inclusión del dispositivo DSTATCOM.

#### **3.2.2.1. Evaluación correspondiente al escenario previo a la instalación del DSTATCOM**

Se muestra en Tabla 3-4 el resultado de las tensiones, suficiencia de capacidad de los tramos y despacho de potencia de la central El Diuto, cuando ésta se encuentra controlando tensión en la barra El Diuto 6 kV (1,02 p.u.) y el equipo DSTATCOM no está en servicio.

**Tabla 3-4: Resultados de tensión y suficiencia para un escenario con central conectada y DSTATCOM fuera de servicio.**

Escenarios		Demanda Alta		Demanda Baja		
		c/ central	s/ central	c/ central	s/ central	
Generación						
El Diuto I	P[MW]	3.15	-	3.15	-	
	Q[MVAr]	- 0.14	-	- 1.21	-	
DSTATCOM	P[MW]	-	-	-	-	
	Q[MVAr]	-	-	-	-	
Tensión en barras [p.u.]						
El Diuto 6		1.020	0.858	1.020	1.017	
El Diuto 23		1.019	0.858	1.034	1.017	
Nueva Manzanares 23		1.017	0.858	1.033	1.017	
Nueva Manzanares 13,2		1.019	0.862	1.046	1.017	
Poste 24115 (Extremo Norte Mortandad) 13,2		0.987	0.824	1.038	1.009	
Poste 43382 (Extremo Sur Santa Bárbara) 13,2		0.977	0.952	1.015	1.023	
Poste 17198 (Extremo Sur Molino Bío Bío) 13,2		1.009	0.985	1.024	1.032	
Poste 16050 (Regulador Cantera No Reg) 13,2		1.004	0.981	1.020	1.017	
Poste 16051 (Regulador Cantera Reg) 13,2		1.027	1.003	1.029	1.037	
Los Angeles 13,2		1.023	1.023	1.023	1.023	
Suficiencia en tramos [%]						
El Diuto - Tap El Diuto 23		In=396 [A]	20	0	21	0
Tap El Diuto - Nueva Manzanares 23		In=396 [A]	17	4	21	0
Cabecera Alim. Cantera 13,2		In=301 [A]	28	70	34	17
Arranque Santa Barbara 13,2		In=129 [A]	49	51	15	14
Arranque Mortandad 13,2		In=194 [A]	15	18	4	4
Trafo Manzanares 23/13,2		Pn=3 [MVA]	66	15	83	1
Regulador Cantera 13,2/13,2		Pn=4,6 [MVA]	41	105	51	25

Cuando la central está en servicio, se cumplen todos los requerimientos normativos de suficiencia de capacidad y de magnitudes de tensión en régimen permanente para un escenario de demanda baja y alta. De igual manera se cumplen todos los requerimientos normativos cuando la central se desconecta intempestivamente en un escenario de demanda baja.

Cuando la central se desconecta intempestivamente en un escenario de demanda alta, las tensiones en las barras cercanas a la central y en el extremo norte del subalimentador Mortandad, caen fuera de la franja permitida de tensión, además se sobrecarga levemente el regulador Canteras producto de la fuerte inversión del flujo de potencia proveniente de la barra Los Ángeles 13,2 kV.

### 3.2.2.2. Evaluación para escenario con equipo DSTATCOM en servicio

Para un escenario en que el equipo DSTATCOM está conectado y controlando tensión en la barra Manzanar 13,2 kV (1,02 p.u.), en la Tabla 3-5 se muestra el resultado de las tensiones, suficiencia de capacidad en tramos, despacho de potencia de la central El Diuto I y el desempeño del compensador de reactivos para distintas condiciones de operación. En todos los casos, la central genera con factor de potencia igual a uno (f.p. = 1).

**Tabla 3-5: Resultados de tensión y suficiencia para un escenario con central conectada y DSTATCOM en servicio.**

Escenarios		Demanda Alta		Demanda Baja		
		c/ central	s/ central	c/ central	s/ central	
Generación						
El Diuto I	P[MW]	3.15	-	3.15	-	
	Q[MVAr]	-	-	0.00	-	
DSTATCOM	P[MW]	0.00	-	0.00	-	
	Q[MVAr]	- 0.12	1.25	- 1.25	0.04	
Tensión en barras [p.u.]						
El Diuto 6		1.025	0.953	1.056	1.020	
El Diuto 23		1.022	0.953	1.053	1.020	
Nueva Manzanares 23		1.020	0.954	1.051	1.020	
Nueva Manzanares 13,2		1.020	0.957	1.047	1.020	
Poste 24115 (Extremo Norte Mortandad) 13,2		0.988	0.923	1.039	1.012	
Poste 43382 (Extremo Sur Santa Bárbara) 13,2		0.978	0.973	1.015	1.024	
Poste 17198 (Extremo Sur Molino Bío Bío) 13,2		1.010	1.005	1.024	1.033	
Poste 16050 (Regulador Cantera No Reg) 13,2		1.004	0.992	1.021	1.017	
Poste 16051 (Regulador Cantera Reg) 13,2		1.028	1.023	1.029	1.038	
Los Angeles 13,2		1.023	1.023	1.023	1.023	
Suficiencia en tramos [%]						
El Diuto - Tap El Diuto 23		In=396 [A]	19	0	19	0
Tap El Diuto - Nueva Manzanares 23		In=396 [A]	17	3	19	0
Cabecera Alim. Cantera 13,2		In=301 [A]	27	65	34	17
Arranque Santa Barbara 13,2		In=129 [A]	49	50	15	14
Arranque Mortandad 13,2		In=194 [A]	15	16	4	4
Trafo Manzanares 23/13,2		Pn=3 [MVA]	65	14	74	1
Regulador Cantera 13,2/13,2		Pn=4,6 [MVA]	41	98	51	25

Cuando la central está conectada se cumplen todos los requerimientos normativos de suficiencia de capacidad y de magnitudes de tensión en régimen permanente para escenario de demanda baja y alta. De igual manera se cumplen todos los requerimientos normativos cuando la central sale intempestivamente de servicio y se considera un escenario de demanda baja.

Cuando la central se desconecta intempestivamente en un escenario de demanda alta, todas las tensiones de régimen permanente en la red troncal que va desde Los Ángeles a Manzanar y de allí a El Diuto están dentro de lo admisible, no obstante las tensiones cercanas al extremo norte del subalimentador Mortandad quedan bajo la franja permitida. Este problema particular de subtensión se soluciona instalando un condensador de 300 kVAr controlado por tensión (control de tensión en la barra entre 1 y 1,03 p.u.) en las medianías del subalimentador Mortandad.

### **3.2.2.3. Evaluación escenario post instalación equipo DSTATCOM y condensador en subalimentador Mortandad**

Se muestra en Tabla 3-6 el resultado de las tensiones, suficiencia de capacidad, despacho de potencia de la central El Diuto generando con factor de potencia (f.p. = 1), el equipo DSTATCOM conectado en barra Manzanar 13,2 y el condensador de 300 kVAr conectado en el subalimentador Mortandad.

**Tabla 3-6: Resultados de tensión y suficiencia para un escenario con central conectada, DSTATCOM en servicio y condensador conectado.**

Escenarios		Demanda Alta		Demanda Baja	
		c/ central	s/ central	c/ central	s/ central
Generación					
El Diuto I	P[MW]	3.15	-	3.15	-
	Q[MVAr]	-	-	0.00	-
DSTATCOM	P[MW]	0.00	-	0.00	-
	Q[MVAr]	- 0.42	1.25	- 1.25	- 0.26
Tensión en barras [p.u.]					
El Diuto 6		1.025	0.971	1.056	1.020
El Diuto 23		1.022	0.971	1.053	1.020
Nueva Manzanares 23		1.020	0.971	1.051	1.020
Nueva Manzanares 13,2		1.020	0.975	1.047	1.020
Poste 24115 (Extremo Norte Mortandad) 13,2		0.994	0.947	1.039	1.017
Poste 43382 (Extremo Sur Santa Bárbara) 13,2		0.978	0.977	1.015	1.024
Poste 17198 (Extremo Sur Molino Bío Bío) 13,2		1.010	1.009	1.024	1.033
Poste 16050 (Regulador Cantera No Reg) 13,2		1.004	0.993	1.021	1.017
Poste 16051 (Regulador Cantera Reg) 13,2		1.028	1.027	1.029	1.038
Los Angeles 13,2		1.023	1.023	1.023	1.023
Suficiencia en tramos [%]					
El Diuto - Tap El Diuto 23	In=396 [A]	19	0	19	0
Tap El Diuto - Nueva Manzanares 23	In=396 [A]	17	3	19	0
Cabecera Alim. Cantera 13,2	In=301 [A]	27	65	34	17
Arranque Santa Barbara 13,2	In=129 [A]	49	49	15	14
Arranque Mortandad 13,2	In=194 [A]	15	15	4	8
Trafo Manzanares 23/13,2	Pn=3 [MVA]	65	14	74	1
Regulador Cantera 13,2/13,2	Pn=4,6 [MVA]	41	98	51	25

Cuando la central, el equipo DSTATCOM y el condensador están conectados se cumplen todos los requerimientos normativos de suficiencia de capacidad en los tramos y de tensión en régimen permanente para los escenarios de demanda baja y alta.

### 3.2.3. Factibilidad de generación de central El Diuto a 3,4 MW y f.p. = 1.

Este análisis se lleva a cabo para demostrar que es posible generar a capacidad máxima de la central (3,4 MW, f.p = 1.0), considerando el DSTATCOM en servicio. Se muestra en la Tabla 3-7 el resultado de las tensiones, suficiencia de capacidad y despacho de potencia de la central El Diuto I, cuando se encuentra controlando factor de potencia (f.p. = 1) y tiene una consigna de 3,4 MW, el equipo DSTATCOM conectado en barra Manzanar 13,2 y el condensador de 300 kVAr conectado en el subalimentador Mortandad.

**Tabla 3-7: Resultados de tensión y suficiencia para un escenario con central en consigna 3,4 MW, DSTATCOM en servicio y condensador conectado.**

Escenarios		Demanda Alta		Demanda Baja	
		c/ central	s/ central	c/ central	s/ central
Generación					
El Diuto I	P[MW]	3.40	-	3.40	-
	Q[MVAr]	-	-	0.00	-
DSTATCOM	P[MW]	0.00	-	0.00	-
	Q[MVAr]	- 0.52	1.25	- 1.25	0.04
Tensión en barras [p.u.]					
El Diuto 6		1.025	0.971	1.062	1.020
El Diuto 23		1.022	0.971	1.058	1.020
Nueva Manzanares 23		1.020	0.971	1.056	1.020
Nueva Manzanares 13,2		1.020	0.975	1.053	1.020
Poste 24115 (Extremo Norte Mortandad) 13,2		0.994	0.947	1.045	1.012
Poste 43382 (Extremo Sur Santa Bárbara) 13,2		0.976	0.977	1.015	1.024
Poste 17198 (Extremo Sur Molino Bío Bío) 13,2		1.008	1.009	1.024	1.033
Poste 16050 (Regulador Cantera No Reg) 13,2		1.004	0.993	1.021	1.017
Poste 16051 (Regulador Cantera Reg) 13,2		1.026	1.027	1.029	1.038
Los Angeles 13,2		1.023	1.023	1.023	1.023
Suficiencia en tramos [%]					
El Diuto - Tap El Diuto 23	In=396 [A]	21	0	20	0
Tap El Diuto - Nueva Manzanares 23	In=396 [A]	18	3	20	0
Cabecera Alim. Cantera 13,2	In=301 [A]	28	65	37	17
Arranque Santa Barbara 13,2	In=129 [A]	49	49	15	14
Arranque Mortandad 13,2	In=194 [A]	15	15	4	4
Trafo Manzanares 23/13,2	Pn=3 [MVA]	71	14	80	1
Regulador Cantera 13,2/13,2	Pn=4,6 [MVA]	42	98	55	25

Si se sube la consigna de la central a su máximo técnico cuando el equipo DSTATCOM y el condensador se encuentran conectados, se cumplen todos los requerimientos normativos de suficiencia y tensión de régimen permanente para un escenario de demanda alta.

Considerando un escenario de demanda baja, la única infracción normativa se encuentra en la barra El Diuto 6 kV y esto se puede controlar directamente con el despacho de la central bajando el voltaje en barra y aumentando la corriente transmitida. Luego, es factible subir la consigna de potencia activa transmitida a 3,4 MW.

### **3.2.4. Conclusiones de la evaluación del cumplimiento normativo.**

Desde el punto de vista técnico, la inclusión del dispositivo DSTATCOM y un condensador en el subalimentador Mortandad permiten satisfacer las condiciones de tensión (tensión dentro del margen 0,94 y 1,06, y una variación del 6% cuando la central es conectada) y suficiencia (niveles de carga menor a 100%). Esto tanto cuando la central está en servicio o cuando existe una desconexión intempestiva de la misma.

### **3.3. Evaluación Económica**

Para comprobar que la instalación del equipo DSTATCOM y el condensador es rentable, se comparará el costo de la inversión inicial con la ganancia que se puede obtener al subir la consigna del generador a 3,4 MW (Potencia máxima del generador) en vez de los actuales 3,15 MW que son despachados por la central.

#### **3.3.1. Aumento de la venta de potencia y energía**

Se calcula el valor presente del incremento de la venta de energía y potencia debido al aumento de la consigna de potencia, considerando un horizonte de evaluación de 15 años y una tasa de descuento del 10% real anual. El precio de la potencia utilizado es de 9500 US\$/MW×mes acorde con el precio publicado semestralmente por la Comisión Nacional de Energía (CNE). El precio de la energía utilizado para la evaluación económica es de 80 US\$/MWh.

En el cálculo de este beneficio también se incluye el aumento de pérdidas de potencia en el sistema atribuibles a esta nueva consigna de la central, utilizando para ello un polinomio característico<sup>5</sup> que relaciona la potencia inyectada por la central y las pérdidas en el alimentador. Se presentan los resultados en la Tabla 3-8.

---

<sup>5</sup> Las pérdidas en MW y la proporción que le corresponde asumir a El Diuto, se calculan mediante una minuta "PROTOCOLO PARA DETERMINACIÓN DEL INCREMENTO EN LAS PÉRDIDAS DE DISTRIBUCIÓN PRODUCTO DE LA CONEXIÓN DE LA CENTRAL EL DIUTO" que la consultora Systep Ingeniería y Diseños S.A. efectuó para Coopelan con fecha 16/02/2011. [8]



**Tabla 3-8: Incremento de las ventas debido al aumento de consigna de la central.**

Variación Anual	Incremento	Unidad
ΔPotencia	0,19	MW
ΔEnergía	1694	MWh
ΔVentas Anual	\$ 157.609	US\$
VAN ΔVentas	\$ 1.198.785	US\$

### 3.3.2. Costo del equipamiento

Se presenta en Tabla 3-9 valores referenciales<sup>6</sup> para los costos de los equipos a instalar en el alimentador Canteras.

**Tabla 3-9: Costo de los equipos a instalar.**

Equipo	Costo [US\$]
DSTATCOM	\$ 300.000
Transformador DSTATCOM 23 kV	\$ 45.000
Condensador 300 kVAr	\$ 16.000
Costos de Instalación (*)	\$ 126.350
VAN COMA(**)	\$ 82.374
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 569.724</b>

(\*) Costos de Instalación se suponen que son un 35% de los costos totales de inversión

(\*\*) Costos anuales de Operación, Mantenimiento y Administración (COMA) se suponen un 3% de los costos totales de inversión

### 3.3.3. Comparación

Se muestra en la Tabla 3-10 una comparación entre el costo del equipo y el beneficio en las ventas de energía y potencia, se puede apreciar que al quinto año del incremento de la consigna de potencia de la central El Diuto, se recupera el capital invertido además de ofrecer una mayor estabilidad en las tensiones del sistema en caso de que la central salga intempestivamente fuera de servicio.

<sup>6</sup> Valores del equipo DSTATCOM y su respectivo transformador elevador, además del capacitor utilizado fueron otorgados por S&C.

**Tabla 3-10: Comparación costo y beneficio de la instalación de un equipo DSTATCOM.**

	Valor [USD]
Costo Equipos	\$ 569.724
VAN $\Delta$ ventas (horizonte 15 años)	\$ 1.198.785
VAN $\Delta$ ventas (horizonte 5 años)	\$ 597.461

## 4. Conclusiones

La instalación de un compensador estático de reactivos en un sistema de distribución (DSTATCOM) permite proveer estabilidad en los voltajes del sistema, cuando ocurren abruptas fluctuaciones en la demanda y cortes de generación en la red, logrando así cumplir con la regulación chilena respecto a los niveles de voltaje y suficiencia de capacidad de la distribución.

El beneficio de instalar un dispositivo DSTATCOM también se refleja en la posibilidad de incrementar las ventas de potencia y energía al permitir regular el voltaje a través del dispositivo estático. Así, la central generadora puede despachar su unidad a su potencia activa máxima y con un factor de potencia igual a uno ( $f.p = 1$ ).

En el caso práctico de la central El Diuto conectada a la red de distribución de Coopelan (alimentador Canteras), todas las inversiones son recuperadas en el quinto año luego del aumentar el punto de operación de la unidad generadora a su capacidad nominal máxima.

## 5. Glosario

CC:	Centro de Control de cada central de generación.
CDC:	Centro de Despacho y control del CDEC-SIC.
CDEC-SIC:	Centro de Despacho Económico del Sistema Interconectado Central.
CNE:	Comisión Nacional de Energía.
Coopelan:	Cooperativa Eléctrica de Los Ángeles.
DSTATCOM:	Compensador estático de reactivos para las redes de distribución.
NTCO para PMGD:	Norma Técnica de Conexión y Operación para PMGD.
NTSyCS:	Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio.
PMGD:	Pequeño Medio de Generación Distribuido
SEC:	Superintendencia de Electricidad y Combustibles

## 6. Bibliografía

- [1] Walter Brokering, Rodrigo Palma, and Luis Vargas, *Ñom Lufke (El rayo domado) o Los Sistemas Eléctricos de Potencia*. Santiago de Chile: Prentice Hall - Pearson Education, 2008.
- [2] Comité Mexicano de Cigré, "Características funcionales del STATCOM," Guadalajara, México, 2001.
- [3] S&C, "S&C PureWave DSTATCOM Distributed Static Compensator," 2007.
- [4] Superintendencia de Electricidad y Combustible. (2013) Infraestructura Eléctrica del SIC. [Online]. [http://secgis.sec.cl/gis\\_electrico/infraestructura/maps.html](http://secgis.sec.cl/gis_electrico/infraestructura/maps.html)
- [5] Comisión Nacional de Energía, "Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio," Santiago de Chile, 2009.
- [6] Comisión Nacional de Energía, "Decreto Supremo 327, Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos," Santiago de Chile, 1998.
- [7] Comisión Nacional de Energía, "Norma Técnica de Conexión y Operación de PMGD en Instalaciones de Media Tensión," Santiago de Chile, 2007.
- [8] System Ingeniería y Diseños S.A., "Protocolo para determinación del incremento en las pérdidas de distribución producto de la conexión de la central El Diuto," Santiago de Chile, 2011.