

**ANÁLISIS Y ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CAPACIDAD FIRME  
EN EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN 23 kV  
DE LA SUBESTACIÓN CORONEL OVIEDO  
2015-2020**

FREDY DANIEL VARGAS PARRA

**Orientador:**

Prof. Ing. Luis Alberto Ferreira

Diciembre, 2015

**RESUMEN**

*El presente trabajo tiene como objetivo general realizar un análisis de la Capacidad Firme del Sistema Eléctrico de Potencia de la ciudad de Coronel Oviedo a corto y mediano plazo (2015-2020). Se efectuó una evaluación crítica de las obras y el desempeño del sistema de distribución en 23 kV, de forma a plantear eventuales soluciones alternativas. El estudio propone una metodología que consta de cinco (5) procesos: Recolección de Datos, Análisis Técnico, Simulaciones, Análisis Económico y Producto Final.*

*Se realiza un estudio de la capacidad de transformación en las Subestaciones involucradas, analizándose la adecuación de la capacidad de reserva existente y requerida conforme a distintos criterios de planificación. Como resultado, se proponen un conjunto de recomendaciones para mejorar la capacidad firme en la Subestación Coronel Oviedo de la ANDE. Finalmente, se realiza una evaluación económica-financiera de las obras propuestas con las configuraciones y modificaciones sugeridas en este trabajo de forma a verificar la factibilidad del conjunto de obras de refuerzo del Sistema de Transmisión Centro.*

**PALABRAS CLAVES:** Capacidad Firme, Planificación de Distribución, Sistema de Distribución.

**I. INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo trata sobre la Subestación de Energía Eléctrica de la ciudad de Coronel Oviedo (SE-COV en adelante) que se encuentra geográficamente ubicado en el Departamento de Caaguazú abasteciendo a un centro de consumo de energía de una extensa Región Oriental de aproximadamente: 41.934 usuarios en las categorías de Media y Baja Tensión (M.T. y B.T. en adelante); en grupos de consumos Industriales, Comerciales, Residenciales y otros usos, entre los cuales podemos citar que 36.953 son usuarios Residenciales en grupo normal y social; 3.012 Comerciales en M.T y B.T; 687 industriales en M.T. y B.T.; 7 M.T. Diferencial y 1.275 en otros usos, un número muy considerable.

El pasado 14 de febrero del 2013, el servicio eléctrico que brinda dicha subestación sufrió un percance debido a una descarga atmosférica afectando el funcionamiento del único transformador de potencia (TR en adelante) que alimenta a la ciudad y sus alrededores, causando un corte general en el suministro y dejando aproximadamente por un periodo de días sin energía eléctrica a gran parte de los consumidores especialmente a la zona céntrica de la ciudad.

Este acontecimiento evidenció que ante la avería del único transformador de potencia de la SE-COV, no se dispone de un plan de contingencia que posibilite atender de manera rápida y efectiva la totalidad de la carga suministrada por la SE-COV, lo cual sugiere la necesidad de analizar alternativas que permitan aumentar el valor de la capacidad firme en el Sistema Eléctrico de Potencia (S.E.P. en adelante).

Por lo mencionado, se observaron debilidades en el S.E.P., razón por la cual el estudio se basó en un Análisis, Evaluación y Propuestas de Alternativas tales como: la instalación de otro transformador de potencia, transportar la Energía Eléctrica excedente de Subestaciones ubicadas en ciudades aledañas en líneas nuevas en M.T. o repotenciando las existentes, finalmente sugiriendo la más apropiada desde el punto de vista Técnica y Económica.

## II. JUSTIFICACION

La Subestación de Energía Eléctrica de la ciudad de Coronel Oviedo se encuentra ubicado estratégicamente en el centro de consumo de Energía Eléctrica de la Región Oriental, atiende aproximadamente a 41.934 usuarios en las categorías de Media y Baja tensión en grupos de consumos Industriales, Comerciales, Residenciales y otros usos, entre los cuales 36.953 son usuarios residenciales entre los grupos normal y social; 3.012 comerciales en M.T y B.T.; 687 industriales en M.T. y B.T.; 7 Diferencial en M.T. y 1.275 en otros usos, un número muy considerable.

En el transcurso del tiempo el aumento en el consumo de Energía Eléctrica ha ido incrementándose en categorías de M.T. y B.T. obteniéndose mediciones en el periodo de verano 2014 de 38,8 MVA en Demanda Máxima, quedando con 2,6 MVA (6,7% de 41,6 MVA) como energía disponible para atender el crecimiento de la zona.

En la siguiente tabla 3.1 se observa el crecimiento de la demanda máxima (periodo verano) de la SE-COV y SE Aledañas en los últimos 5 años.

SISTEMA TRANSMISION CENTRO Y SISTEMA DE INTERCONEXION					
SE	SE - COV	SE - CZU	SE - CYO	ES - PPE	SE - ELA
TR's	1	1	1	1	1
Tensión kV	220/23	220/23	220/23	220/23	66/23
Pot. Nom. MVA	41,6	41,6	41,6	41,6	30
Demanda MVA	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Max.
2009	31,56	28,47	14,7	0	0
2010	36,7	28,57	16,12	0	0
2011	42,01	37,5	18,2	0	0
2012	41,3	34,94	18	25,86	23,1
2013	39,8	37,4	22,3	31,55	27,4
2014	38,8	40,3	20,8	29,7	29,3
2015	40,02	41,31	21,2	30,8	28,3

Tabla 3.1. Demanda máxima en punta 2009-2015

## III. OBJETIVO GENERAL

Analizar y Proponer alternativas Técnicas-Económicas para mejorar la capacidad firme en el suministro de energía eléctrica en la Subestación Coronel Oviedo (ANDE).

## IV. ACTIVIDADES REALIZADAS

Se realizaron las siguientes actividades:

- Recopilación de información referente al Sistema de Transmisión Centro y Subestaciones involucradas en el estudio. Subestaciones: Carayao (CYO), PasoPe (PPE), Caaguazú (CZU), Eusebio Ayala (ELA).
- Modelado del Sistema de Transmisión Centro mediante programas de flujo de potencia (PowerWorld, Cymdist).
- Análisis de capacidad de transformación y capacidad de transferencia de carga entre las Subestaciones involucradas (SE COV, CYO, PPE, CZU y ELA).
- Análisis de flujo de potencia para evaluación del Plan de Obras de refuerzo existente ANDE.
- Elaboración de obras alternativas de interconexión entre Subestaciones e implementación de nuevos equipos de potencia.
- Análisis de la capacidad firme con las mejoras planteadas en la Subestación Coronel Oviedo.
- Costeo y evaluación económica.
- Análisis de factibilidad técnica-económica.

## V. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

Este trabajo consiste en un Análisis de la Capacidad Firme de la Subestación de Energía Eléctrica de la ciudad de Coronel Oviedo, observándose el estado actual de los transformadores y las líneas en M.T. (alimentadores) que hacen posible la interconexión y el traspaso de carga con otros Sistemas, obteniéndose las características de funcionamiento, en 220.000V y 23.000V del Sistema de Transmisión Centro y finalmente sugerir eventuales alternativas, mejorando la confiabilidad y el desempeño técnico a un bajo costo.

## VI. RESULTADOS

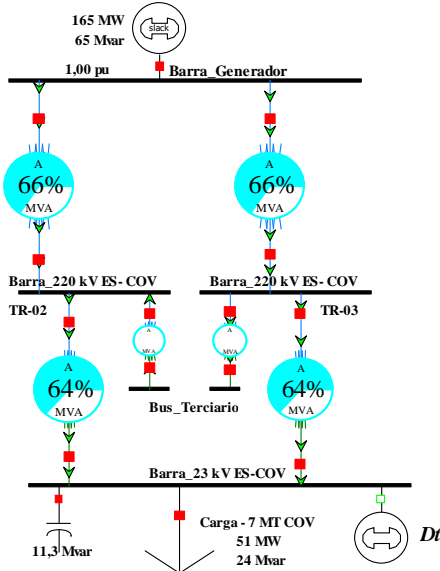
De acuerdo a los resultados obtenidos por las diferentes simulaciones realizadas (condiciones normales y en contingencias). Se recomienda la inserción de un nuevo equipo de potencia el TR-03 en la SE COV, por las siguientes observaciones:

- Mayor rango de capacidad firme en comparación con las demás alternativas.
- Las demás alternativas no cubrían las necesidades mínimas de energía eléctrica durante el periodo 2015 y menos en futuro.
- Menor nivel de cargabilidad en los equipos de potencia durante el régimen normal de operación, posibilitando un menor valor de sobrecarga.
- Menor duración de respuesta en caso de contingencia.

### Implementación de la mejor alternativa

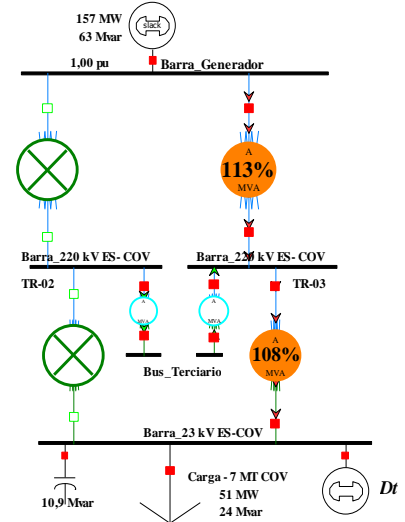
El TR-03 mejora el Sistema Eléctrico de Potencia de la ciudad de Coronel Oviedo en términos de capacidad firme dando la posibilidad de atender la demanda máxima presente en la ciudad, esta alternativa debe llevarse a cabo, efectuándose gradualmente en una sola etapa. A continuación se presentan los mímicos representativos de las simulaciones realizadas.

SUBESTACION CORONEL OVIEDO 2020



Operación normal (Carga Máxima) Subestación Coronel Oviedo.

SUBESTACION CORONEL OVIEDO 2020



Operación en contingencia (Carga Máxima) Subestación Coronel Oviedo

## VII. FACTIBILIDAD ECONOMICA

El estudio económico presenta la factibilidad de las obras a ser planteadas, citándose la mejor de ellas.

- ✓ Montaje e Instalación de un transformador de potencia de 41,6 MVA-220/23 kV en la Subestación Coronel Oviedo.

### Costos

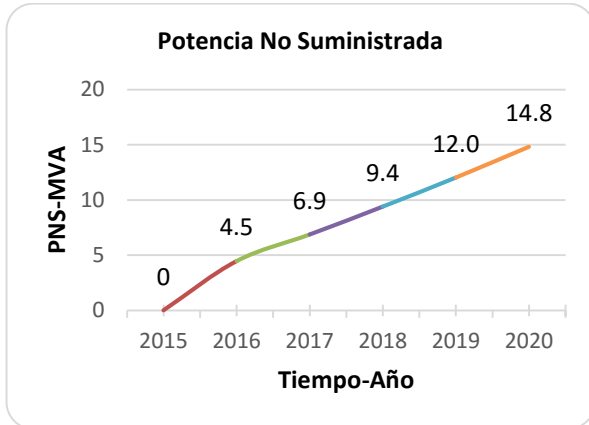
A continuación se detallan los costos requeridos para la realización de la obra mencionada. Dicha obra presupuestada comprende la inversión de nuevos equipos, así como una configuración que permita una buena operación.

Montaje e Instalación de una posición de un transformador en la Subestación Coronel Oviedo TR-03					
Item	Descripcion	Unidad	Cant.	P. Unitario Moneda: Gs	Precio Total Moneda: Gs
1	Transformador de potencia trifasica, 220/23/13,8 kV - 41,67MVA	Unidad	1	5.524.350.185	5.524.350.185
2	Interruptor de potencia trifasico, 245 kV, 1250A	Unidad	1	329.560.766	329.560.766
3	Seccionador de dos columnas de apertura central horizontal, 245 kV, 1250 A, montaje horizontal, con mando electrico tripolar, con cuchilla de puesta a tierra, completo con todos sus accesorios.	Unidad	3	75.640.389	226.921.167
4	Panenes de proteccion, medicion y control	Gs	1	1.500.050.000	1.500.050.000
5	Descargador de sobretension de 198 kV, tipo Zn, con base aislante y contador, completo con todos sus accesorios.	unidad	3	23.769.391	71.308.173
6	Descargador de sobretension de 18 kV, completo con todos sus accesorios.	unidad	3	9.442.000	28.326.000
7	Celdas Metalciad 23 kV	unidad	9	198.424.960	1.785.824.640
8	Mufas terminales para cable de cobre aislado tipo XLPE, 23 kV tipo interior	unidad	9	951.813	16.918.074
	tipo Exterior	unidad	9	727.973	
9	Conductor de fase tipo ACSR 636 MCM Grosbeak.		500	35.597	
	Cable de cobre aislado tipo XLPE, 23 kV, 400mm2	m	300	417.963	190.928.450
	Cable de cobre aislado tipo XLPE, 23 kV, 70 mm2		350	136.402	
10	Adecuaciones a la mallá a tierra	Gs	1	20.000.000	20.000.000
11	Sistema computarizado de control	Gs	1	350.000.000	350.000.000
12	Obras (Electromecánicas, civiles, eléctricas)	Gs	1	906.855.000	906.855.000
Costo total en Gs (Egresos)					10.951.042.455

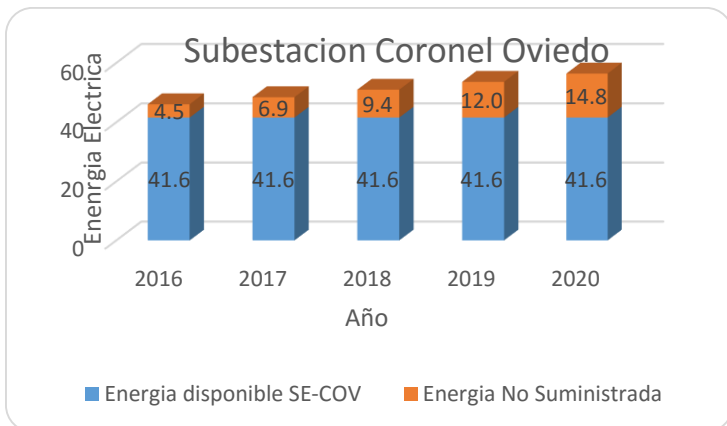
### Beneficios

#### Reducción de Potencia No Suministrada

A continuación se resume los valores de potencia no suministradas en caso de no realizarse las mejoras.



La Energía No Suministrada (ENS) es una función de la Potencia No Suministrada por la cantidad de horas del periodo considerado. Para obtener la duración (en horas) representativa de cada periodo de carga, se consideró un análisis de la curva de duración de la demanda.



El análisis realizado arrojó una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 19%, y un Valor Actual Neto (VAN) de 2.457.384.476 Gs (aproximadamente 490.000 \$) para una tasa de descuento de 12%, haciendo del proyecto rentable.

### VIII. CONCLUSIONES

Durante la elaboración del proyecto se relevó los datos técnicos de las capacidades actuales de los TR's y de los alimentadores de media tensión, 23 kV de Subestaciones aledañas (SE PPE, CYO, CZU Y ELA) y la Subestación en estudio observándose la condición de operación de los mismos y la falta de un equipo de potencia o una adecuación que permita mejorar la capacidad firme. Se observó que los circuitos en estudio presentan operaciones de sobrecarga con los datos obtenidos del crecimiento de la demanda máxima (2016-2020), con posibilidad de causar un deterioro en los equipos, materiales y en las líneas que conforman al circuito de la Subestación Coronel Oviedo, ocasionando que el servicio eléctrico se vea afectado constantemente por colapsos, acarreado pérdidas económicas a la ANDE y molestias al usuario.

En base al estudio realizado y los datos aportados por la ANDE, luego de este análisis se puede decir que la mejor alternativa válida a partir del punto de vista técnico y económico es la implementación de un nuevo equipo de potencia, un transformador de potencia de 220/23kV con una potencia de 41,66 MVA y con todos sus elementos, se puede llevar a cabo en el menor tiempo y con un costo adecuado.

### IX. RECOMENDACIONES

Realizar un plan de mejoras que permita corregir la capacidad firme en la Subestación Coronel Oviedo, con miras a evitar posibles sobrecargas y fallas. Este plan sugiere una coordinación entre Departamentos, involucrándose entre sí tanto en el Suministro y Operación de las distintas líneas en M.T, para:

- ✓ Repotenciar los circuitos existentes y diseñar planes estratégicos que permitan mejorar la capacidad firme.
- ✓ Verificar y mantener los equipos y líneas de distribución siguiendo un plan de mantenimiento preventivo.
- ✓ Poda de árboles, que estén cercanos a las líneas en Media Tensión.
- ✓ Adecuación y control de las protecciones en líneas de distribución.
- ✓ Sugerir y sustituir los equipos dañados o que puedan dañarse a corto plazo.
- ✓ Evitar el hurto de material y equipos eléctricos de los circuitos.
- ✓ Determinar y eliminar las conexiones clandestinas.
- ✓ Utilizar materiales de buena calidad.

Se necesita implementar en el Sistema Eléctrico de Potencia de la Subestación Coronel Oviedo otro transformador de potencia de características similares al existente o en todo caso reemplazarlo con otro de una potencia superior, para descongestionar el transformador existente y mejorar la capacidad firme garantizando un servicio de calidad y confiabilidad.

Realizar un nuevo proyecto que determine las características técnicas adecuadas de todos los equipos electromecánicos a ser usado en dicha obra ya sean transformador de potencia, transformador de corriente, descargadores, interruptores, seccionadores, aisladores.

Incentivar a los estudiantes y profesionales a la utilización de los programas PW y Cymdist, simuladores que permiten visualizar y analizar las características reales del sistema de potencia por su amplia aplicación y fácil interpretación.

## X. BIBLIOGRAFÍAS

- [1] J. J. Grainger y W. D. S. Jr., ANALISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA, México: McGRAW-HILL, 1996.
- [2] J. Ramírez Vázquez, Estaciones de transformación y Distribución. Protecciones de sistemas Eléctricos, México: Enciclopedia CEAC, 1974.
- [3] ANDE, «Memoria y Balance,» Asunción (Paraguay), 2011.
- [4] Nexans, «Accesorios de energía de baja, media y alta Tensión,» Barcelona (España), 2011.
- [5] I. R. Espinosa y Lara, SISTEMAS DE DISTRIBUCION, México: LIMUSA, 1990.
- [6] C. E. Salazar Golindano, «Estudio para la optimización de los circuitos de sub-transmisión en los niveles de tensión 34.5 kV; Chaguaramas, Caripe, Rural Norte, Rural Sur, Amana, del estado Monagas, Perteneciente a CORPOELEC - CADAFE Región 2. Tesis de Grado,» Universidad de oriente núcleo de Anzoátegui-Escuela de Ingeniería y Ciencias aplicadas - Departamento de Electricidad, Puerto La Gruz, 2006.
- [7] ANDE, «Memoria y Balance,» Asunción (Paraguay), 2010.
- [8] ANDE, «Indicadores de calidad,» Coronel Oviedo, 2014.
- [9] ANDE, Reglamento para Instalaciones Eléctricas de Media Tensión, Asunción, 1975.
- [10] G. E. Harper, Manual del Técnico en subestaciones eléctricas industriales y comerciales, México: LIMUSA S.A., 2008.
- [11] ANDE, Memoria y Balance, Asunción, 2013.
- [12] ANDE, Memoria y Balance, Asunción, 2005.
- [13] E. G. Alcaraz Funes, «Impacto del Modelado de los Sistemas Eléctricos Brasileño y Argentino en los Estudios de Estabilidad Electromecánica en la Operación Interconectada de Itaipú y Yacyretá,» de XI SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO – CIGRÉ Paraguay, Asunción, 2014.
- [14] G. E. Harper, El ABC de las Maquinas Eléctricas, México: Limusa, 2004.
- [15] E. Ras, Transformadores de potencia, de medida y de protección, Barcelona: BOIXAREU, 1994.
- [16] S. Espínola Colman y C. Espínola Ojeda, «Gerenciamiento de la vida útil de transformadores de potencia - Tesis de grado,» de Trabajo de Investigación, Asunción, Universidad del Cono Sur de las Américas, 2003, pp. 13-63; 261-262.
- [17] S. J. Chapman, Maquinas Eléctricas, Australia: McGraHill, 2000.
- [18] J. Jiménez Hernández, J. A. Pérez y J. Santos Juárez, Métodos para pruebas de campo a Transformadores de Potencia mayores a 1 MVA - tesis de grado, México: Instituto Politécnico Nacional - Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2009.
- [19] G. Kindermann, Proteção de Sistema Eléctricos de Potência, Santa Catarina, 2005.
- [20] G. Kindermann, proteção de sistema eléctricos de potência, Santa Catarina, 1999.
- [21] J. Navarro, 1998.
- [22] I. Pérez Guzmán, Interruptores de Potencia y Extinción del Arco Eléctrico, Mendoza: Universidad Veracruzana - Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, 2012.
- [23] G. Carrillo Caicedo, Protecciones Eléctricas, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander - Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas, 2007.

- [24] A. V. Duran, Líneas Aéreas de Distribución en Media y Baja Tensión, Xalapa: Universidad Veracruzana - Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, 2012.
- [25] M. O. Jiménez, M. V. Cantu y D. A. Conde, Líneas de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica, San Nicolás de los Ganza Nueva León: Universidad Autónoma Nueva León, 2006.
- [26] PowerWorld Corporation, «PowerWorld Simulator 18,» Canada, 2014.
- [27] N. Chain Sapag, Preparación y Evaluación de Proyectos, México: McGrawHill, 2000.
- [28] G. Baca Urbina, Ingeniería Económica, México: McGrawHill, 2007.
- [29] J. Garcia, Instalaciones Eléctricas en Media y Baja Tensión, México: Paraninfo, 1999.
- [30] Comisión Federal de Electricidad de electricidad - Gerencia de subestaciones y líneas de transmisión, Manual de Interruptores de Potencia, México: Instituto de Investigación Eléctricas, 2003.
- [31] P. Dagá Gelabert, E. Oños Prados y F. Ruiz Vassallo, Transformadores Convertidores - Enciclopedia CEAC de Electricidad, Barcelona: CEAC, 1974.
- [32] L. M. Checa, «Líneas de Transporte de Energía,» Mexico, McGRAW-HILL, 1988, pp. 3-4.