



Comite Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

---

## **Alternativas de Refuerzo de la Transmisión a las Subestaciones Villarrica y Caazapá**

**Rodrigo Noguera Doldán**

**Administración Nacional de Electricidad - ANDE**

**PARAGUAY**

### **RESUMEN**

Este trabajo tiene por objetivo realizar un análisis de alternativas de refuerzo de la transmisión a las subestaciones Villarrica y Caazapá del Sistema ANDE, así como el suministro a la Compañía de Luz y Fuerza S.A. (CLYFSA), contemplando una actualización de la proyección de la demanda.

En este sentido, si bien las tasas de crecimiento previstas para la carga de ANDE no han sufrido variaciones aún, la proyección de la demanda es actualizada a partir de las demandas registradas en el año 2006 (año base), las cuales se constituyen en un nuevo punto de partida de la proyección. Adicionalmente, también se contempló la proyección de carga presentada por CLYFSA en relación a su crecimiento vegetativo y a crecimientos puntuales planificados.

Este informe fue elaborado mediante la simulación del desempeño del sistema en régimen permanente, analizando los flujos de potencia para los casos considerados durante el periodo comprendido entre los años 2007 al 2012. Se analiza el comportamiento del sistema eléctrico, observándose el perfil de tensión, márgenes de estabilidad de tensión y carga de equipos en las subestaciones involucradas (Coronel Oviedo, Villarrica, CLYFSA y Caazapá), de forma a realizar las recomendaciones para el efecto.

De igual forma, se tienen en cuenta las obras que entran en el periodo, de acuerdo al cronograma de obras previstas en el Plan Maestro de Generación y Transmisión de Corto Plazo [1].

### **PALABRAS CLAVES**

Proyección de carga.

Perfil de tensión.

Márgenes de estabilidad, curvas PV.

Cargabilidad de equipos.



## 1. INTRODUCCIÓN

En los estudios técnicos realizados y en las constataciones de la operación del sistema eléctrico de la ANDE, se ha venido verificando un bajo perfil de tensiones en las barras de las subestaciones Villarrica y Caazapá, siendo especialmente crítica la situación en esta última subestación, donde la tensión cae a valores menores que los admisibles.

Puede afirmarse que la situación expuesta se debe a las características de la línea de transmisión, en lo que respecta a su longitud y nivel de tensión. Esta situación reduce de sobremanera el margen de estabilidad de tensión, llegándose incluso al riesgo del colapso de tensión. De las alternativas analizadas, dos fueron las seleccionadas:

Alternativa 1: refuerzo del sistema de transmisión local por medio de una línea de transmisión de 220 kV desde la Subestación Coronel Oviedo hasta la Subestación Villarrica, reemplazando al actual circuito en 66 kV.

Alternativa 2: refuerzo del sistema de transmisión local por medio de la construcción de una nueva terna en 66 kV desde la Subestación Coronel Oviedo hasta la Subestación Villarrica, paralela a la línea existente.

De la evaluación técnica-económica realizada de las alternativas seleccionadas en el informe Alternativas de alimentación a las ciudades de Villarrica y Caazapá [2], se concluyó que la Alternativa 1 ofrece un mejor desempeño eléctrico, tanto en lo que respecta a perfil de tensiones, como en el nivel de pérdidas de transmisión y margen de carga (margen de estabilidad de tensión).

## 2. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

### 2.1 Sistema Actual

El Sistema Interconectado Nacional (SIN) en la mencionada zona cuenta actualmente con una línea de subtransmisión de 66 kV, simple terna, entre las Subestaciones Coronel Oviedo y Villarrica, con un transformador de potencia trifásico de 66/23 kV de 30 MVA en la Subestación Villarrica y una alimentación en 66 kV desde la Subestación Villarrica para la Subestación CLYFSA. Además de la alimentación a dicha subestación, se dispone de una línea de subtransmisión de 66 kV Villarrica – Caazapá para alimentar a la Subestación Caazapá. Todo este sistema es alimentado desde el sistema de 220 kV de la Subestación Coronel Oviedo, mediante un banco de transformadores monofásicos de potencia de 220/66 kV de 60 MVA instalado en la misma.

En la Figura siguiente se puede observar un diagrama unifilar con las capacidades nominales de los equipos de transformación y compensación, así como las líneas de subtransmisión presentes. En el caso de las líneas se muestran sus capacidades nominales y máximas para periodos de emergencia.

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

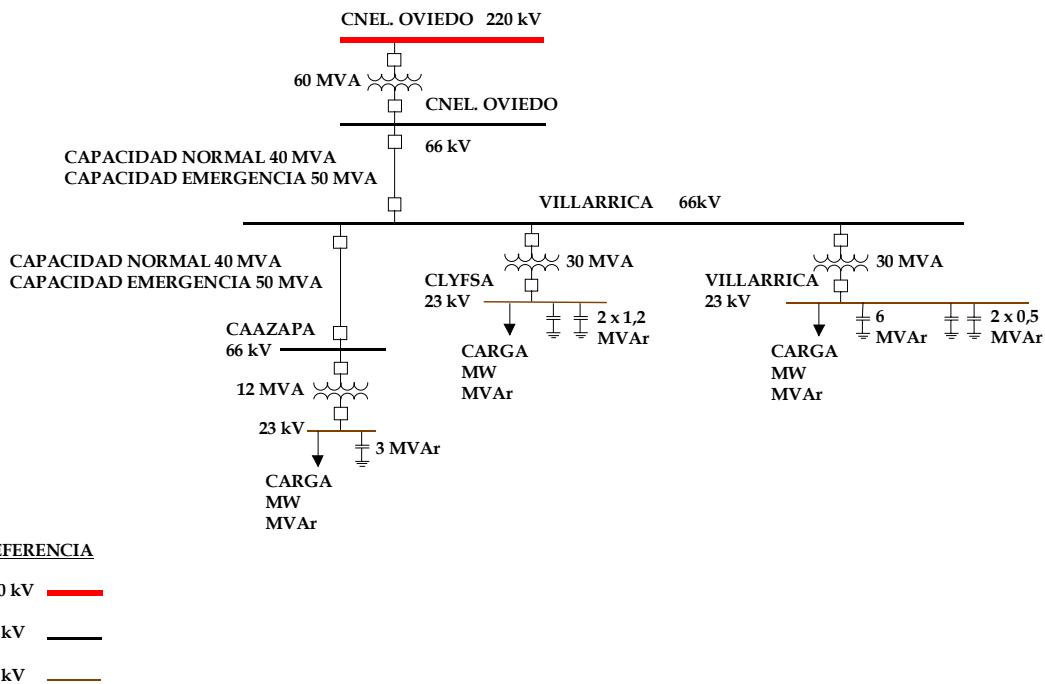


Figura 1: Sistema eléctrico actual y capacidades nominales

### 3. NUEVA PROYECCIÓN DE CARGAS

#### 3.1 Demanda de ANDE

En este estudio es utilizada la nueva desagregación de la proyección de la carga eléctrica total del mercado global por subestaciones y/o barras, basada en los registros horarios del mes de diciembre 2006, mes de la demanda máxima del SIN de dicho año. La proyección de la demanda está basada en los factores de crecimiento del escenario adoptado (Escenario Medio con Plan de Reducción de Pérdidas ANDE-BID). Estos factores indican la proyección de la demanda prevista en cada región o subsistema.

#### 3.2 Demanda de CLYFSA

Según el expediente SG/DSME/15486/07 del 16 de Noviembre de 2007, la compañía CLYFSA hace un pedido de aumento de potencia de 9,6 a 10,5 MW, y expone su plan de crecimiento. Así, en los próximos cinco años, dicha compañía prevé un crecimiento vegetativo con una tasa entre 6 y 9 % anual y un crecimiento puntual entre 10 a 15 MW correspondiente a un parque industrial planificado. Ante estas previsiones, dicha compañía tiene planificada la puesta en servicio de un segundo punto de transformación de 66/23 kV de 30 MVA, como respaldo al existente y ante un crecimiento eventualmente mayor al previsto.

### 4. ALTERNATIVAS DE REFUERZO

Considerando que en el Plan Maestro de Transmisión de Corto Plazo 2007 – 2011, se contempla la obra de refuerzo a la zona de Villarrica, con la construcción de la línea de transmisión en 220 kV Coronel Oviedo - Villarrica para el año 2010, y atendiendo al estado de elevada carga en

equipos y líneas, se plantean alternativas de solución a la limitada capacidad de transmisión a Villarrica y Caazapá del sistema actual:

- Compensación reactiva.
- Repotenciación de la LT 66 kV Coronel Oviedo – Villarrica.
- Construcción de la LT 220 kV Coronel Oviedo – Villarrica.

A continuación, se analizan las alternativas.

#### 4.1 Compensación reactiva

Atendiendo a su condición de un sistema altamente radial, la condición operativa más severa correspondería a la punta de carga zonal (no coincidente con la punta del SIN), razón por la cual, en las simulaciones son utilizadas las cargas máximas no simultáneas en 23 kV de las subestaciones de Villarrica, Caazapá y CLYFSA. Mediante simulaciones de flujo de potencia, para un caso base correspondiente al año 2007, se constata la situación actual y las acciones necesarias en el cortísimo plazo para un mejoramiento del desempeño del sistema.

Entre los principales problemas encontrados en el sistema para los niveles de demanda actuales, es el bajo perfil de tensiones. Si bien, la situación no es tan crítica en barras de 23 kV debido a la acción del tap de los transformadores trifásicos de potencia de 66/23 kV, la situación es más crítica en las barras de 66 kV, en la de Villarrica y principalmente en la de Caazapá, donde se tendrían niveles bastante degradados, inclusive por debajo de 0,90 pu en horas de punta. Por ello, se recomienda como medida paliativa la instalación de compensación reactiva adicional:

Subestación Villarrica: +6 MVAR, en sustitución de los dos bancos de 0,5 MVAR cada uno, totalizando 12 MVAR.

Subestación Caazapá: +3 MVAR, totalizando de 6 MVAR.

Subestación CLYFSA: +3 Mvar, alcanzándose un total de 5,4 MVAR.

Los niveles de tensión obtenidos ya con la instalación de esta compensación reactiva adicional, en las barras de 23 kV estarían operando cercanas a la tensión nominal (1 pu), en tanto que la barra de 66 kV de la Subestación Caazapá estaría por debajo de 0,90 pu.

En la Tabla siguiente, se muestran los niveles de carga de transformadores de ANDE de la zona en estudio, así como en la línea Cnel. Oviedo – Villarrica, donde con relación a la capacidad de la línea de transmisión en 66 kV Coronel Oviedo – Villarrica, puede observarse que la misma se encontraría con una sobrecarga aproximada de 14%.

Atendiendo al tiempo requerido para la solución de este problema de sobrecarga en la línea, se proponen recién obras en el corto plazo. Mientras tanto, deberán implementarse algún esquema del tipo de alivio de carga.

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

**Tabla I: Carga en la LT de 66 kV y transformadores de la zona de estudio**

Año	EQUIPOS			
	LT COV- VIL 66 kV [MVA]	Trafo COV 220/66 kV [MVA]	Trafo VIL 66/23 kV [MVA]	Trafo CZA 66/23 kV [MVA]
2007	57.2	63.5	31.1	14.9

**4.2 Repotenciación de la LT 66 kV Coronel Oviedo – Villarrica**

De manera a solucionar el problema de sobrecarga en la LT 66 kV Coronel Oviedo – Villarrica, se plantea como solución la repotenciación de dicha línea, mediante el cambio del conductor actual por un conductor AAAC 500 MCM. Dado que la ANDE ya dispondría de los conductores, se estima que este refuerzo podría estar en servicio para el año 2008. En estas condiciones, la capacidad repotenciada de la línea sería de 72 MVA en condiciones normales y 80 MVA en condiciones de emergencia.

En la siguiente tabla, puede apreciarse el perfil de tensiones en barras de 66 y 23 kV, así como la carga en los transformadores y la LT 66 kV de la zona de estudio, para los años 2008 al 2010.

**Tabla II: Perfil de tensiones de las subestaciones Villarrica, Caazapá y Clyfsa**

Año	SUBESTACIÓN									
	VIL 23 kV		CZA 23 kV		CLY 23 kV		VIL 66 kV		CZA 66 kV	
	[pu]	[kV]	[pu]	[kV]	[pu]	[kV]	[pu]	[kV]	[pu]	[kV]
2008	1.005	23.12	0.984	22.63	0.993	22.84	0.909	59.99	0.850	56.10
2009	0.993	22.84	0.986	22.68	1.007	23.16	0.911	60.13	0.860	56.76
2010	1.008	23.18	0.993	22.84	1.009	23.21	0.915	60.39	0.854	56.36

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Cabe aclarar, que los niveles de tensión obtenidos fueron mediante la inclusión de la siguiente compensación capacitiva adicional:

En el 2009:

Subestación Villarrica 23 kV: + 3 MVar, totalizando 15 MVar la mencionada SE.

Subestación Caazapá 23 kV: + 3 MVar, totalizando 9 MVar en esta SE.

En el año 2010:

Subestación Villarrica 23 kV: + 6 MVar, totalizando 21 MVar.

Subestación CLYFSA 23 kV: + 3 MVar, totalizando 8,4 MVar.

Pueden apreciarse los elevados requisitos de compensación reactiva necesarios para mantener unos niveles de tensión aceptables, cercanos a 1 pu en barras de 23 kV. No obstante, en esta alternativa se mantendrían niveles degradados en las barras de 66 kV, indicando problemas de estabilidad de tensión.

Con la recapacitación de la línea de transmisión de 66 kV a 72 MVA, no se tendrían inconvenientes de sobrecarga en la misma hasta el año 2010. A partir del año 2011, ya se requeriría otro refuerzo, atendiendo tanto a los problemas de colapso de tensión y a capacidad térmica de la línea. A modo de verificación, en la Figura siguiente se muestra la curva PV trazada para las subestaciones en estudio. En esta curva, puede apreciarse un escaso margen de carga desde el punto de vista de estabilidad de tensión, lo cual reforzaría la necesidad de un refuerzo ya en 220 kV para la zona, a más tardar para el año 2011, sin el cual no se podría atender el aumento puntual de 15 MW solicitado por CLYFSA.

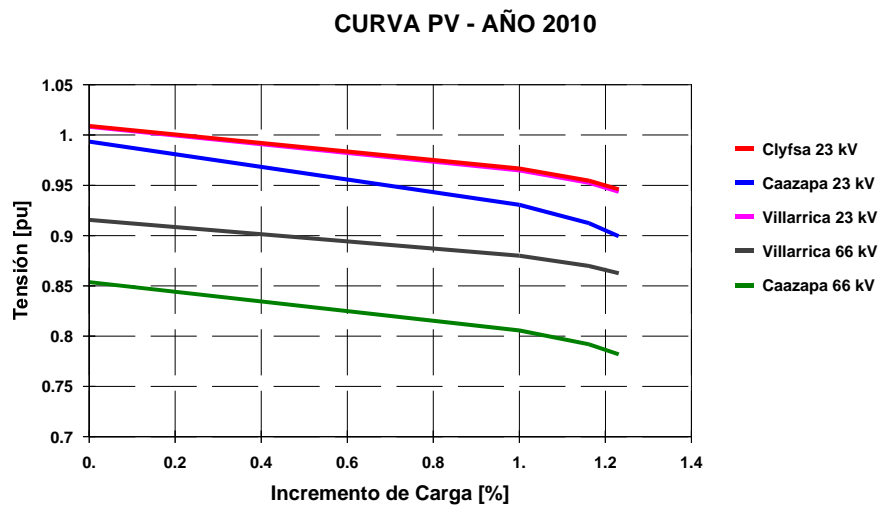


Figura 2: Curva PV para el año 2010 con LT 66 kV COV-VIL repotenciada

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Por lo expuesto, puede concluirse que la alternativa de recapitación de la LT 66 kV Coronel Oviedo – Villarrica, siempre que pueda realizarse para el año 2008 y con compensación reactiva adicional, evitaría la necesidad de recurrir a esquemas de alivio de carga hasta el año 2010, y representa una solución solamente en el corto plazo.

La misma no es adecuada para atender la demanda de las subestaciones Villarrica y Caazapá, así como la carga de CLYFSA, en el mediano plazo.

Para finales del año 2008 e inicios del año 2009 se requiere la instalación de un segundo transformador trifásico de potencia de 66/23 kV de 30 MVA. De igual manera, se requiere un aumento de la potencia instalada en Coronel Oviedo, con el cambio del actual banco de transformadores monofásicos de potencia de 220/66 kV de 60 MVA por otro de 120 MVA de capacidad.

**4.3 Adelantamiento de la LT 220 kV Coronel Oviedo – Villarrica y construcción de la Subestación Villarrica 220 kV**

Considerando las sobrecargas ya registradas, lo ideal sería el adelantamiento de esta obra ya para el año 2008. Sin embargo, atendiendo a los plazos licitatorios y procedimientos administrativos requeridos, se estima que la fecha de puesta de servicio más temprana posible sería para finales del año 2009.

En estas condiciones, y atendiendo al nivel de inversiones requerido por el proyecto en 220 kV, esta alternativa implicaría la concentración de recursos en la construcción de la línea, y por lo tanto no se prevé ninguna obra durante el año 2008.

Cabe resaltar, que sí fueron considerados en el sistema los refuerzos de cortísimo plazo recomendados en la sección anterior por los problemas actuales. En esta alternativa, puede observarse la necesidad de recurrir a esquemas de alivio de carga para el año 2008.

A partir del año 2009, con la entrada de la LT en 220 kV, el sistema tendría un comportamiento satisfactorio y estaría en condiciones de suministrar el elevado crecimiento de la demanda previsto.

En la siguiente tabla, se muestran la carga en equipos y líneas para los próximos años.

**Tabla III: Carga en la LT de 66 kV y transformadores de la zona de estudio**

Año	EQUIPOS											
	LT VIL 66 kV [MVA]	COV-66 kV [MVA]	Trafo 220/66 [MVA]	COV kV	LT 220 kV [MVA]	COV-VIL kV	Trafo 220/66 [MVA]	VIL kV	Trafo 66/23 [MVA]	VIL kV	Trafo 66/23 [MVA]	CZA kV
2008	62.8		67.9		---		---		33.6		17.1	
2009	---		---		62.3		63.6		35.4		18.3	
2010	---		---		66.4		67.8		35.2		18.5	
2011	---		---		71.7		73.2		37.4		19.8	

Finalmente, a modo de verificación, en la Figura siguiente se muestra la curva PV de las barras de la zona de estudio con la LT 220 kV Coronel Oviedo – Villarrica en servicio. En la misma puede apreciarse que con la mencionada línea en servicio se cuenta con márgenes de estabilidad

de tensión adecuados, que permitirán atender convenientemente el crecimiento de la zona en el medio y largo plazo.

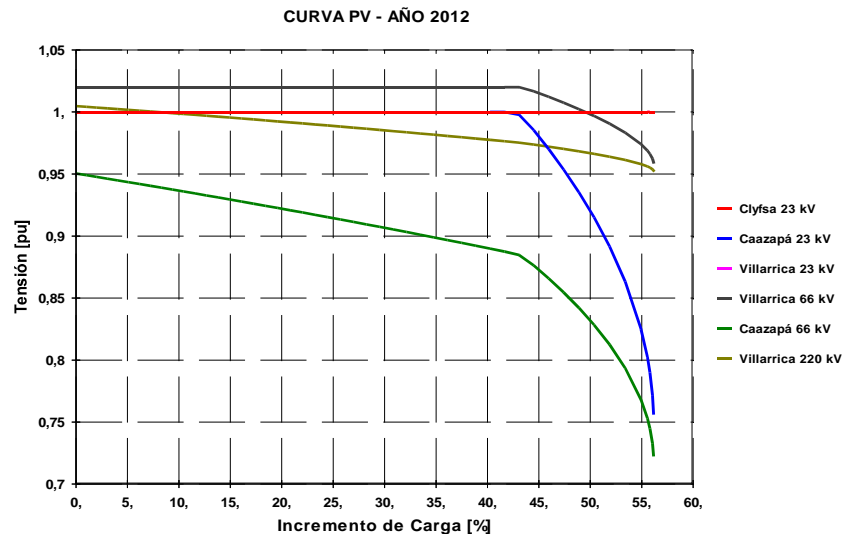


Figura 3: Curva PV para el año 2012 con la LT 220 kV Coronel Oviedo - Villarrica.

## 5. CONCLUSIONES

Del análisis del desempeño del sistema, actualmente se tienen problemas de bajos niveles de tensión en las subestaciones Villarrica y Caazapá, principalmente en las barras de 66 kV, ya que en las barras de 23 kV, por la acción del tap de los transformadores, todavía puede mantenerse tensiones cercanas a 1 pu. También se presenta el problema de sobrecarga en la LT de 66 kV Coronel Oviedo – Villarrica por encima de su capacidad nominal de emergencia de 50 MVA y en el transformador de la Subestación Caazapá.

Por ello, se recomiendan como medidas a ser tomadas en el cortísimo plazo (inicios del 2008) las siguientes obras:

Compensación reactiva capacitiva adicional y aumento de capacidad de transformación:

- Subestación Villarrica: +6 MVAR, en sustitución de los dos bancos de 0,5 MVAR cada uno, totalizando 12 MVAR.
- Subestación Caazapá: +3 MVAR, totalizando de 6 MVAR.
- Subestación CLYFSA: +3 Mvar, alcanzándose un total de 5,4 MVAR.
- Subestación Caazapá: cambio del actual transformador 66/23 kV de 12 MVA por otro de 20 MVA.

Para solucionar el problema de sobrecarga en la LT 66 kV Coronel Oviedo – Villarrica, y atendiendo a una proyección crecimiento de demanda actualizada, se analizan dos alternativas:

Repotenciación de la LT 66 kV Coronel Oviedo – Villarrica, las obras requeridas en esta alternativa son las siguientes:



VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

---

- LT en 66 kV Coronel Oviedo – Villarrica: cambio de conductor a AAAC 500 MCM con capacidad normal de 72 MVA y 80 MVA en emergencia para el 2008.
- Subestación Villarrica: instalación de segundo transformador 66/23 kV de 30 MVA para finales 2008/inicios 2009. Compensación reactiva adicional en 23 kV de +3 MVAR en el 2009 y +6 MVAR en el 2010, respectivamente.
- Subestación Coronel Oviedo: cambio del actual banco de transformadores monofásico de potencia de 220/66 kV de 60 MVA por otro de 120 MVA para finales 2008 o inicios 2009.
- Subestación Caazapá: compensación reactiva adicional de +3 MVAR en el 2009.
- Subestación CLYFSA: compensación reactiva adicional en 23 kV de + 3 MVAR en el 2010.

Con estas obras en servicio, para la proyección de demanda analizada, se tendría un desempeño aceptable hasta el año 2010 aproximadamente. A partir del año 2011, debido tanto a limitaciones por capacidad de carga de la línea, así como por colapso de tensión, se requiere un refuerzo en 220 kV, nivel de tensión más adecuado para los niveles de carga previstos. Por lo expuesto, la alternativa de repotenciación de la línea puede ser considerada como una opción que sirve para postergar temporalmente la construcción de la línea en 220 kV, y no es adecuada para atender la demanda de la zona en el mediano y largo plazo.

Adelantamiento de la LT 220 kV Coronel Oviedo – Villarrica, dados los plazos requeridos, se considera como fecha más temprana posible de puesta en servicio el año 2009. En esta alternativa se requieren las siguientes obras:

- Subestación Villarrica: instalación de segundo transformador trifásico de potencia de 66/23 kV de 30 MVA para finales 2008 o inicios 2009.
- Construcción de la LT 220 kV Coronel Oviedo – Villarrica, simple terna con longitud aproximada de 40 km.
- Construcción de la Subestación Villarrica 220 kV, con una capacidad de transformación en 220/66 kV de 120 MVA, e interconexión con la subestación existente.

Esta alternativa requeriría la implementación de algún esquema de alivio de carga hasta la entrada en servicio de la nueva línea. Esta alternativa presenta un desempeño técnico satisfactorio en el mediano plazo y apropiado para atender el crecimiento futuro de la demanda de la zona.

## 6. REFERENCIAS

[1] ANDE – DEE/TI – Plan Maestro de Generación y Transmisión de Corto Plazo Periodo 2007-2011.

[2] ANDE – DEE/TI – Informe DEE/TI1/04/05 – Alternativas de alimentación a las ciudades de Villarrica y Caazapá.