



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

## “EFECTO DEL USO DEL ALUMBRADO PÚBLICO A ENERGÍA SOLAR Y DE LUMINARIAS TIPO LED A NIVEL RESIDENCIAL SOBRE EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL PARAGUAYO Y SU RENTABILIDAD”

F. MITJANS <sup>\*1</sup>, D.SARTORIO <sup>2</sup> J.PULFER <sup>3</sup>

Ingeniería Mecánica-Ingeniería Electromecánica – Universidad Nacional de Asunción  
Barrio Villa Universitaria- Campus Universitario-San Lorenzo  
correo-e: felipe.mitjans@gmail.com- dsartorio@ing.edu.py.  
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción

### RESUMEN

El presente trabajo tiene como objeto de presentar una propuesta novedosa y sustentable para la generación de energía eléctrica en el Paraguay y el área metropolitana de Asunción basada en una fuente renovable de energía. Dicha generación se realizaría principalmente en horas de punta con el fin de reducir la potencia contratada por la Administración Nacional de Electricidad (ANDE), en las usinas existentes y de esta forma disminuir costos y al mismo tiempo estabilizar los perfiles de tensión en las redes de transmisión y de distribución en la zona de Asunción. La electricidad se generaría mediante la implementación de paneles fotovoltaicos en luminarias tipo Alumbrados públicos de acuerdo a los distintos modelos de Iluminación y potencia de las mismas con que cuenta la ANDE, a mas de eso la utilización de luminarias de bajo consumo tipo LED, en las residencias domiciliarias, disminuyendo así 200 MW de potencia contratada de la Usina de Itaipu en horario de punta. La principal ventaja para la implementación de este tipo de proyectos es el alto índice de radiación global del Paraguay en promedio diaria de 5kwh/m2dia, según las condiciones ambientales, forman parte de la metodología, datos de la NASA, y el modelo matemáticos empleado en el software Redscreen. Este tipo de proyectos con energías renovables seria una opción viable a corto y mediano plazo para la implementación del mismo por parte de la Administración Nacional de Electricidad (ANDE) en el Sistema de Interconectado Nacional (SIN) en convenio con empresas del sector privado del País, teniendo presente que el alivio de carga que lograría la empresa estatal es el equivalente a una línea de transmisión aérea de 220kV circuito simple (R,S,T). Mediante este proyecto la ANDE podría ahorrar por año hasta US\$ 40,000,000 en concepto de la contratación de potencia en la represa de Itaipú. La inversión de unos US\$ 156,000,000 podría ser amortizada en un plazo de 10 años y tendrá un TIR del 8% y un VAN de US\$ 134,000,000.

**Palabras Claves:** Paneles solares fotovoltaicos – Radiación Solar - Energía renovable - Generación de electricidad - Horas de punta - Luminarias de bajo consumo- LED.



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

## 1. Introducción

Para el suministro en electricidad el área metropolitana de Asunción depende principalmente de la central hidroeléctrica de Itaipú. Para el efecto la ANDE tiene que contratar una cierta potencia de la binacional, que normalmente debería cubrir la potencia máxima en horas de punta conjuntamente con la Usinas de Acaray y Yacyreta. Durante la mayor parte del día (en horario fuera de punta), sin embargo esta potencia contratada no es aprovechada y genera a la ANDE y finalmente al consumidor de la electricidad un sobre costo innecesario en el precio de la tarifa eléctrica. Además, durante el verano, cuando rigen temperaturas muy elevadas, la demanda en energía eléctrica debido al uso cada vez más generalizado de acondicionadores de aire provoca sobrecargas en las redes de transmisión y de distribución y en consecuencia frecuentes cortes en el suministro.

Ambos inconvenientes se podrían solucionar en gran medida, si la ANDE disponía de una o varias usinas eléctricas sean estas convencionales o no, para las horas de punta, una solución que ya se ha planteado en varias oportunidades por dicha institución. Existen proyectos de instalar en puntos críticos del país generadores térmicos para estabilizar las redes de transmisión y distribución, en horas de punta durante el verano. La problemática de las usinas térmicas convencionales es el uso de combustibles fósiles, que tienen que ser importados en un 100% costando al país una importante cantidad de divisas y que contribuyen además al calentamiento global. En el presente trabajo presentamos una alternativa más ecológica y económica a los mencionados proyectos de la ANDE utilizando un recurso renovable de energía, el uso de paneles del tipo fotovoltaico en luminarias tipo Alumbrado público y uso de luminarias de bajo consumo en residencias.

## 2. La Radiación Solar en Paraguay

A pesar de su clima bastante húmedo la radiación solar global en Paraguay es relativamente elevada. Sin embargo, no se cuenta con datos muy confiables provenientes de mediciones terrestres por falta de estaciones de medición apropiadas en nuestro país. Prácticamente la única fuente de datos disponible con series suficientemente largos para todo el país es el "Atmospheric Science Data Center" de la NASA [6], cuyos datos de promedios mensuales de radiación solar global se obtuvieron a través de mediciones satelitales sobre un periodo de más de 20 años. La distribución territorial de los datos con una resolución de 1° de longitud por 1° de latitud es bastante homogénea (ver figura. 1). Los promedios anuales de la radiación global horizontal oscilan entre 4,7 kWh/(m<sup>2</sup>d) en Itapúa y 5,1 kWh/(m<sup>2</sup>d) en Alto Paraguay. El cuadrante correspondiente a la Ciudad de Asunción y sus alrededores tiene un valor medio diario de 4,9 kWh/m<sup>2</sup> o un promedio anual de 1788 kWh/m<sup>2</sup>. En Alemania, el líder mundial en la instalación de energía solar fotovoltaica, dicha radiación alcanza valores de solo 940 a 1050 kWh/m<sup>2</sup> según la región, es decir un poco más de la mitad de nuestro país. La variación interanual en la zona de Asunción es entre 2,9 kWh/(m<sup>2</sup>d) para el mes de junio y 6,6 kWh/(m<sup>2</sup>d) para los meses de diciembre y enero (ver figura.2). Dado que es en invierno, cuando las noches son las más largas y consecuentemente se cuenta con la mayor demanda de energía para el AP, es necesario optimizar la orientación de los paneles solares para dicha estación. La orientación óptima en el hemisferio sur para todo el año es el norte y la inclinación óptima para el invierno equivale a la latitud más 20°, es decir 45° para la zona de Asunción. De esta forma se tendrá una radiación global sobre el plano del panel solar de 4,2 kWh/(m<sup>2</sup>d) en junio y 5,5 kWh/(m<sup>2</sup>d) en enero.



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

## FoDAMI

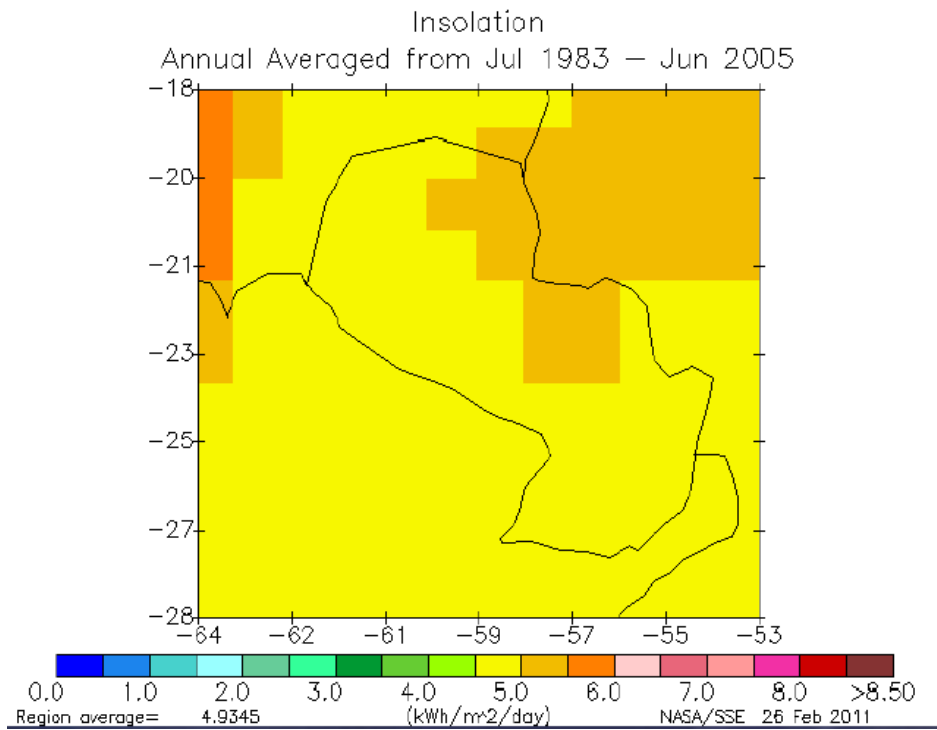


Figura. 1: Promedio de Radiación Global diaria de Paraguay, años 1983 a 2005 (fuente: [6])

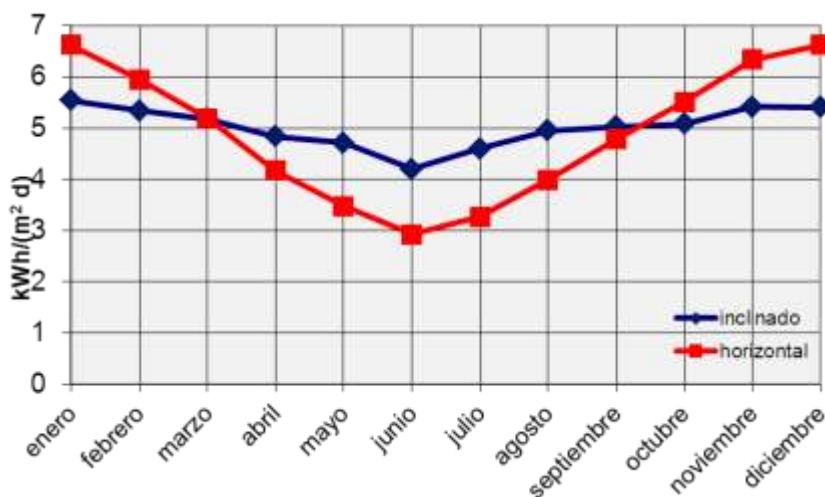


Figura. 2: Promedios mensuales de radiación solar global horizontal y sobre un plano orientado hacia el norte e inclinado en 45° para Asunción y alrededores (fuente: [6] y elaboración propia)



### 3. Sistemas solares fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos son dispositivos que generan electricidad en corriente continua directamente a partir de la radiación solar. Se fabrican a partir de materiales semiconductores, que en la gran mayoría de los casos es silicio. Existe una amplia gama de modelos con potencias nominales que varían entre unos 5 y 300 Wp (Vatio pico). La cantidad de energía que generan es prácticamente proporcional a la radiación solar incidente del momento con un rendimiento de entre 15 y 20%. Los paneles solares fotovoltaicos se caracterizan por una larga vida útil que puede llegar a los 30 años, una baja necesidad de mantenimiento y la facilidad para su instalación. Gracias a la masificación de esta tecnología en



los últimos años, sobre todo en los países industrializados como Alemania, EEUU, España, Italia y Japón, su costo ha bajado considerablemente y ha llegado hoy en día a menos de 1 US\$/Wp (precio mayorista en origen). A finales del 2012 se tenían instalado en el mundo 102 GWp con un incremento de 32 GWp en relación al año anterior [7]. Más del 95% de los sistemas solares fotovoltaicos existentes en el mundo son conectados a la red, diseñados para la generación distribuida de electricidad con un rango de potencia que puede variar entre 1 kWp y varios centenares de MWp. El sistema más grande en la actualidad tiene una potencia instalada de 290 MWp.

Figura. 3: AP solar (fuente: Suntotal)

Se trata del "Agua Caliente Solar Project" ubicado en Arizona, EEUU. Está previsto ampliarlo a casi 400 MWp hasta el año 2014 [8]. Los sistemas pequeños son instalados muchas veces en techos de edificaciones existentes, pero los sistemas grandes debido al importante espacio despejado que requieren son generalmente instalados en zonas rurales formando verdaderos parques solares cubriendo centenas de ha. En los sistemas conectados a la red la energía eléctrica generada por los paneles solares fotovoltaicos tiene que pasar por inversores que transforman la corriente continua en corriente alterna sincronizada con la red.

El pequeño restante de los sistemas fotovoltaicos es de tipo autónomo, es decir independiente de la red, diseñados para proveer energía eléctrica generalmente en zonas, donde no hay servicio eléctrico público. Dichos sistemas cuentan normalmente con un respaldo de energía en forma de baterías, que permiten el uso de energía durante la noche o durante las horas con insuficiencia de radiación solar. El Alumbrado Público (AP) solar es una aplicación típica de esta configuración. Cada elemento de AP conforma un sistema independiente con su panel solar y su batería, lo que hace innecesario el cableado entre los distintos elementos para su alimentación (ver fig. 3). Otro componente que tiene que tener un tal sistema es un regulador de carga y descarga, un artefacto electrónico que protege la batería de sobrecarga y sobredescarga, cortando los circuitos correspondientes, cuando la batería alcanza los voltajes máximo y mínimo respectivamente. En el caso de los AP se encarga además del encendido y apagado automático de la luminaria acorde a la iluminación natural reinante. Existen inclusive reguladores de carga inteligentes que permiten programar según el horario la disminución de la intensidad de la luz, lo que reduce la demanda de energía y en consecuencia el costo en paneles solares y baterías (ejemplo: Phocos CIS-N series). La batería tiene que tener una



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

# FoDAMI

capacidad suficiente para poder brindar una autonomía de varios días, para que el AP funcione también luego de un tiempo prolongado de cielo nublado.

## 4. Luminarias tipo LED

Para que un sistema de AP solar sea económicamente viable, las luminarias utilizadas tienen que ser lo más eficiente posible en la conversión de la electricidad a luz. Por este motivo y por el hecho que pueden funcionar en corriente continua, la mayoría de los sistemas disponibles en el mercado utilizan diodos emisores de luz (LED por su sigla en inglés), cuya eficiencia se ha incrementado de manera dramática en los últimos años. Con 150 lm/W han alcanzado en la actualidad la eficiencia de las lámparas de vapor de sodio de baja presión, las luminarias más eficientes que se tenían hasta hace poco (ver figura. 4). Esas últimas sin embargo tienen el inconveniente que emiten una luz amarilla, la cual genera una reproducción cromática pobre para el ojo humano. Los LED utilizados en AP en cambio emiten luz blanca. Además, los LED tienen todavía un potencial de mejora de eficiencia, cuyo límite teórico es de unos 300 lm/W. Otra ventaja de los LED es su elevada vida útil de hasta 50,000 horas, un valor muy por encima de la de las luminarias convencionales, lo que reduce los costos de mantenimiento del AP. Otra ventaja que ofrecen las luminarias LED es la posibilidad de reducir su intensidad de luz mediante un "dimmer" pudiendo adecuarla en cada momento a la necesidad. Las luminarias LED están incursionando también en el ámbito de la iluminación de interiores. Existe una gran variedad de modelos y diseños, inclusive con casquillo E27, que permite el fácil reemplazo de luminarias convencionales. Dado que la luz de los LED es direccionada reducen la polución lumínica en los exteriores y a pesar de tener una eficiencia energética similar permiten utilizar luminarias con la mitad de la potencia que los equivalentes convencionales de bajo consumo (ver figura. 4).

Carta de equivalencias LED vs Convencionales		Luminaria Convencional							Lumen (lm)
		Incandescentes	Halógenos	Halógenos tipo PAR	Fluorescentes compactas (bajo consumo)	Tubo Fluorescente TB	Lámparas de vapor de sodio alta presión	Lámparas de vapor de sodio baja presión en balasto	
de interior		1W	10W						50-80
		3W	20W						120-180
		5W	25W						155-199
		7W	35W						180-220
		10W	60W		20W	20W			550
		12W	80W		24W	24W			650-750
		15W	100W		30W	30W			700
		20W	150W		40W	40W			950
		60W	400W		120W	120W	100W	300W	3000-3400
		80W	450W		160W	160W	120W	380W	3800
		90W	550W		180W	180W	150W	450W	4500-5100
		120W	750W		240W	240W	200W	600W	6000-6800
150W		900W		300W	300W	250W	750W	7500-8500	
160W		950W		320W	320W	250W	750W	7600	
50W		400W		120W	120W	100W	300W	3200 (Max)	
	75W	550W		180W	180W	150W	450W	4800 (Max)	
	100W	750W		240W	240W	200W	600W	6400 (Max)	
	60W	400W		120W	120W	100W	300W	3000-3400	
	80W	450W		160W	160W	120W	380W	3800	
de exterior		90W	550W		180W	180W	150W	450W	4500-5100
		120W	750W		240W	240W	200W	600W	6000-6800
		150W	900W		300W	300W	250W	750W	7500-8500
		160W	950W		320W	320W	250W	750W	7600
		60W	400W		120W	120W	100W	300W	3000-3400
		80W	450W		160W	160W	120W	380W	3800
		90W	550W		180W	180W	150W	450W	4500-5100
		120W	750W		240W	240W	200W	600W	6000-6800
		150W	900W		300W	300W	250W	750W	7500-8500
		160W	950W		320W	320W	250W	750W	7600
	50W	400W		120W	120W	100W	300W	3200 (Max)	
	75W	550W		180W	180W	150W	450W	4800 (Max)	
	100W	750W		240W	240W	200W	600W	6400 (Max)	

Figura. 4: Cuadro comparativo Luminaria tipo LED y Luminaria Convencional, (fuente: www.luces-led.com)



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL ÁREA  
MECÁNICA  
DE LAS  
INGENIERÍAS

FoDAMI

Un elemento de AP solar típico reemplazando un AP convencional con una lámpara de vapor de sodio de alta presión de 150 W tendría entonces una lámpara LED con una potencia de 90 W. Para que esta pueda funcionar durante 14 h de seguido en invierno con la radiación solar media disponible en esa estación en la zona de Asunción, se necesitaría una potencia de 400 Wp en paneles solares (2 paneles de 200 Wp). Para una autonomía sin recarga de 4 días se necesitaría un banco de baterías con una capacidad de 5000 Wh. En caso que se opte por un sistema con “dimmer” automático considerando una reducción a la mitad de la intensidad de la luz durante 6 h por noche, se podría disminuir la potencia de paneles solares a unos 300 Wp y la capacidad de las baterías a unos 3800 Wh.

## 5. Esquema de Funcionamiento del sistema

Esta configuración permitiría una adecuación óptima de la energía generada de acuerdo a la demanda durante las horas pico siguiendo lo mejor posible la curva de crecimiento y decrecimiento de la misma para disminuir la potencia generada se procede en el sentido inverso.

En lo que respecta al análisis de armónicos que se presentaría en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) dado la gran cantidad de carga no lineal que se inyectaría al sistema, es común utilizar el método de inyección de corriente fija, para predecir la distorsión de tensión en distintos puntos de la red. Estudios realizados evaluaron la distorsión de tensión provocado por las lámparas fluorescentes compactas en un sistema de distribución. En dicho trabajo se observó que un bajo porcentaje de este tipo de lámparas (100kVA en un alimentador de 10MVA) es suficiente para exceder el 5% de la distorsión de tensión, finalmente y con el modelo del sistema de distribución presentado, se analizó el efecto del incremento de la reactancia de la red, concluyendo que su aumento influye favorablemente en la disminución del THD (Índice de distorsión de corriente).

Entre las previsiones que la empresa estatal ANDE deberá tener presente durante la implementación de este tipo de tecnologías es el THD, el cual determinará la calidad de la energía eléctrica suministrada al usuario. El mismo deberá de ser medido y evaluado desde la salida de los alimentadores de distribución ubicadas en las Estaciones hasta el Puesto de Distribución. Los equipos de medición estarán situados específicamente en la sala de celdas. Una vez procesada la información la misma deberá ser enviada a la sala de control de la Estación, centralizando la información en el panel de 23kV previendo la instalación de un display especial en el panel. Teniendo en cuenta que la demanda de carga en el SIN es prácticamente residencial, se estima que por cada 5 alimentadores de potencia de 5MVA corresponde 1 banco de capacitores de 6MVAR de potencia. Por cada barra simple en 23kV el sistema de conexionado de los bancos de capacitores estaría en estrella con neutro aterrado y contaría con un transformador de corriente y un relé de protección para desbalanceo de corriente y para sobrecorriente respectivamente. No prevé el control de la distorsión de tensión y carga que pueda ocasionar gran cantidad de cargas no lineales en el Sistema, ya que los bancos de capacitores de las distintas estaciones en el Sistema Eléctrico solo están dimensionados para disminuir el efecto reactivo de las líneas de distribución que puedan ocasionar cargas puramente reactivas y actúan parcialmente como filtros para atenuar la onda senoidal de corriente y tensión.

Como punto adicional a lo mencionado anteriormente también deberá tenerse en cuenta el aumento en el dimensionamiento del neutro del centro estrella del banco de capacitores



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECÁNICA  
DE LAS  
INGENIERÍAS

FoDAMI

conexionado en estrella a más de esto incorporar filtros para atenuar la onda senoidal y evitar de este modo armónicos que ocasionen una mala sincronización en las actuaciones de las protecciones del sistema eléctrico.

## 5.1. Impacto sobre el Sistema Interconectado Nacional

Tomando en consideración los datos de la curva de carga típica del SIN del 1-02-2013 (ver fig. 5) se notan claramente 2 picos de consumo. La primera de menor amplitud se produce entre las 14 y 16 horas y la segunda más importante entre las 20 y 22 horas alcanzando un máximo de casi 2430 MW. En el valle durante la madrugada tenemos en cambio una demanda de solamente 1730 MW. Sin embargo, se registraron picos en los últimos años (2306 MW diciembre 2012, 2028 MW noviembre 2011, 1941 MW febrero 2010). Se evidencia entonces la necesidad de la construcción de una central de punta o de algún tipo de solución en ese horario para poder subsanar el presente inconveniente.

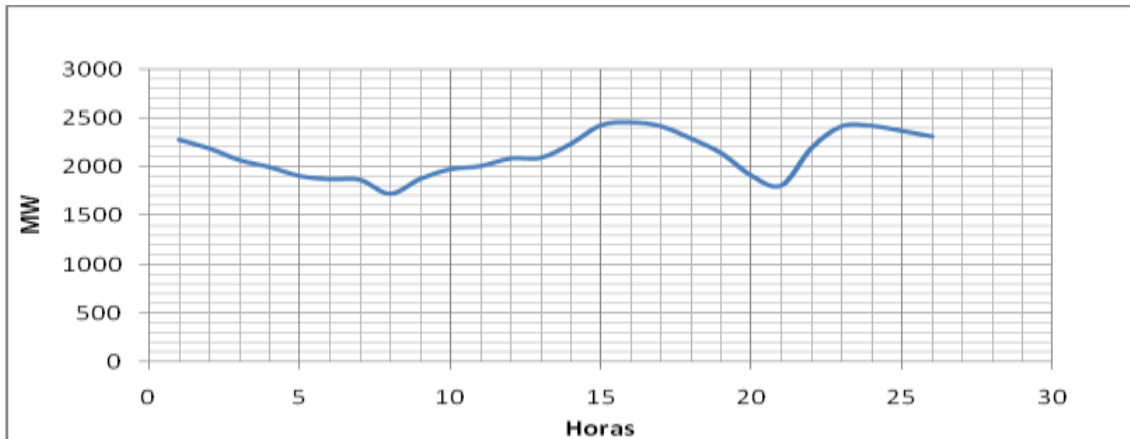


Figura. 5: Curva de carga característica de la demanda de electricidad, año 2013 (fuente: ANDE)

La implementación de paneles solares fotovoltaicos y el uso de luminarias de bajo consumo tipo LED propuesta entraría en funcionamiento en esos horarios de punta con la central Acaray, paliaría de gran manera el inconveniente que se presenta para la empresa estatal, teniendo en cuenta que totalizaría una carga no suministrada del orden de los 200MW, en horario de punta carga, el equivalente al 8,23% de la demanda de carga máxima. (Ver figura.5). De esta cantidad el 15% corresponde a la implementación del Sistema Fotovoltaico para luminarias tipo AP, y el 85% corresponde a la implementación luminaria tipo LED en residencias domiciliarias. Si analizáramos por separado la implementación de ambas tecnologías nos encontraríamos con la dificultad económica, teniendo en cuenta que el costo de inversión de sistemas fotovoltaicos sería muy elevado y no permitiría la amortización del mismo en un tiempo prudenciable, por lo que no formara parte de este trabajo esa posibilidad, sino en conjunto Paneles fotovoltaicos como suministro de energía de luminarias en sustitución del Luminarias tipo AP, y luminarias tipo LED en sustitución de luminarias convencionales en residencias domiciliarias. Cabe recalcar que en la actualidad el SIN solo cuenta con una central para las horas de mayor consumo que es la Central de Acaray. La misma no se encuentra operando a su máxima capacidad debido a la falta de inversión en la misma. Está actualmente en proceso de adjudicación la construcción de la Central Hidroeléctrica Yguazú, la cual funcionará como central de punta con una potencia instalada de 200MW y que en conjunto con la Central de Acaray que tiene una potencia de 210MW,



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

totalizaría una potencia disponible en horario de punta carga de 410MW. Como punto adicional a lo anteriormente mencionado encontramos la limitación de potencia en la Central Binacional Yacyretá (Paraguay-Argentina) lado paraguayo, que en la actualidad es de 500 MVA, esto debido a que no se cuenta con los 2 autotransformadores de 500/220kV de 375MVA, totalizando 750MVA. A más de esto todas las adecuaciones que deberán de realizarse en la barra de 500kV para la puesta en servicio de los equipos, limita el transporte de más potencia en el horario de punta carga y con ello obliga a la contratación de más potencia de la Central Hidroeléctrica de Itaipú y con ello se encarece el pago mensual que la ANDE tiene que realizar a la binacional.

En la figura. 6 Se observa el comportamiento de la tensión en barras de 220Kv, de las principales estaciones eléctricas del Sistema Eléctrico Paraguayo en el horario de punta carga, observamos la caída de tensión en 0,93pu, valor permisible dentro de los criterios de sistema de potencia la Ande [1], lo que obliga a algún tipo de implementación de tecnología para subsanar el inconveniente de la caída de tensión, hasta tanto entre en servicio la Línea de 500kV.

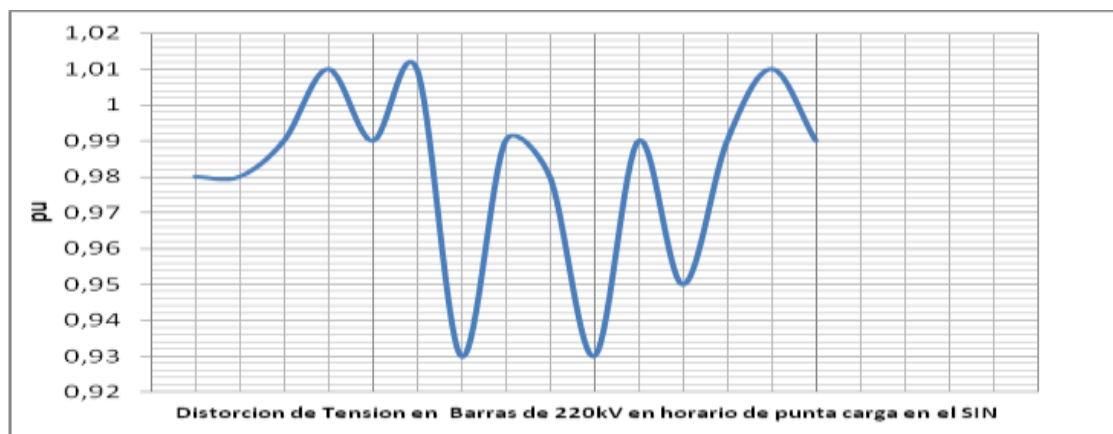


Figura:6 Curva característica de la tensión en barras de 220kV en el horario de punta carga en el SIN, año 2013, (fuente Ande).

Otro punto a considerar es que actualmente el SIN se abastece por medio de 7 líneas de transmisión aérea en el nivel de 220kV (ver figura. 7). Las mismas se encuentran saturadas debido a la alta demanda de carga y la falta de un uso eficiente de la energía eléctrica en las viviendas, razón por lo que la implementación de alternativas, sean estas convencionales o no convencionales, amerita una atención a corto plazo para poder subsanar este inconveniente. Por este motivo la implementación de luminarias de bajo consumo a nivel residencial y el uso de paneles solares fotovoltaicos en luminarias para AP sería una opción válida.



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

# FoDAMI

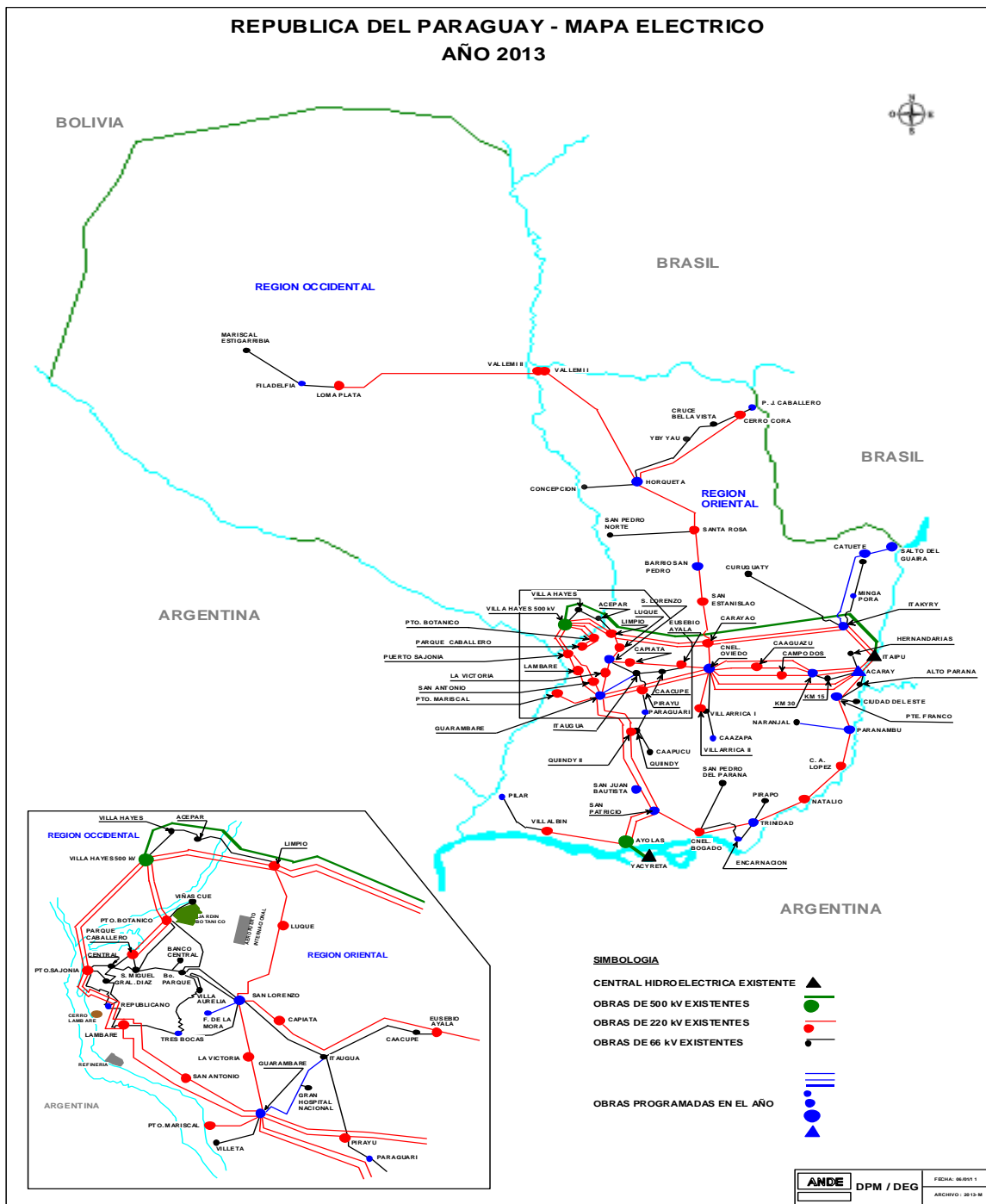


Figura. 7: Plan Maestro de Generación y Transmisión de Corto y Mediano Plazo, año 2013 (fuente: ANDE)



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

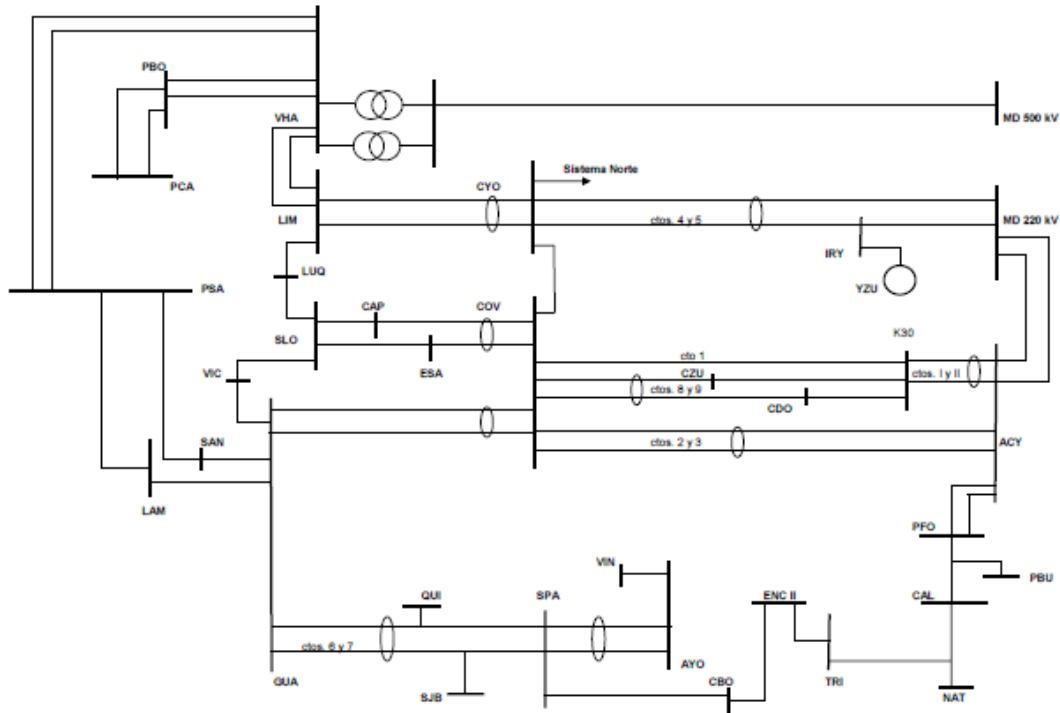


Figura. 8: Configuración Interconectada del Sistema Interconectado Nacional, año 2013 (fuente: ANDE)

Para la evaluación técnica y económica de la implementación de los paneles solares fotovoltaicos y las luminarias de bajo consumo en el SIN y sus efectos en el mismo fueron tenidos en cuenta el sistema eléctrico actual, la entrada en servicio de la Central Hidroeléctrica Yguazú, pero no la entrada en servicio de los autotransformadores de Yacretá en el año 2016. Cabe recalcar que para todos los escenarios se supuso que la línea de 500kV Itaipú-Villa Hayes se encuentra en servicio. También se elaboró un comparativo económico entre lo no facturada por la ANDE por venta de energía en el caso de implementar el proyecto y la disminución de la potencia contratada de la Central Hidroeléctrica Itaipú, que esta implementación generaría, de tal manera a encontrar el punto de equilibrio entre ambos y observar hasta qué punto es rentable para la estatal este tipo de proyectos con energías renovables.

Es importante recordar que si bien la Línea de Transmisión Aérea de 500 kV entre Itaipú y Villa Hayes, que se encuentra actualmente en etapa de construcción, incrementará considerablemente la capacidad de transmisión en el SIN en todos los niveles de tensión (23, 66, 220 kV), no se resolverá con ella el importante desfasaje que existe entre la demanda en horas de punta y fuera de ellas. Esto significa, que la necesidad de una central de punta seguirá existiendo para poder llegar a un factor de carga más equilibrado. La otra posible estrategia para lograr este objetivo sería el fomento del consumo en horarios fuera de punta ofreciendo tarifas diferenciales según el horario, por ejemplo para cocinas eléctricas domiciliarias o industrias electrointensivas. Como punto favorable encontramos el alivio de carga de las líneas de transmisión, las líneas de distribución, los transformadores de potencia y los alimentadores de distribución operarían con menos carga y las pérdidas por transmisión disminuiría considerablemente, a más de lograr una estabilidad de tensión en el sistema

eléctrico, permitiría una reorientación del flujo de carga del sistema permitiendo de esta manera ayudar al sistema norte del SIN.

## **6. Consideraciones Económicas**

Para la realización del proyecto propuesto se estima una inversión total de unos US\$ 190,000,000. Considerando un aporte propio del emprendimiento por la ANDE de unos US\$ 34,000,000, se requeriría una financiación externa de unos US\$ 156,000,000. En el monto de las inversiones se consideraron los beneficios que otorga la Ley 60/90 sobre el fomento de las inversiones. Para este tipo de proyectos basados en energías renovables y eficiencia energética existen fondos con tasas de interés muy bajas y plazos de pago largos. Un ejemplo a citar aquí sería el crédito que el Gobierno del Japón ofreció al Paraguay para el financiamiento de la maquinización de la represa de Yguazú. Para los cálculos de rentabilidad del presente proyecto hemos entonces contemplado un interés del 1% anual y una gracia de 2 años.

El planteamiento económico en este caso es que dicha inversión sería amortizada no por la venta de energía, sino mediante el ahorro que la ANDE obtendría por la reducción de la potencia contratada en la central hidroeléctrica de Itaipú. Dicho ahorro equivaldría a un valor anual de unos US\$ 40,000,000. Las inversiones podrían ser amortizadas en un plazo de 10 años resultando en un TIR del 8% y un VAN de US\$ 134,000,000. Como ingresos del emprendimiento se consideraron, como ya fue mencionado anteriormente, el ahorro en la contratación de potencia en Itaipú.

Tratándose de un proyecto de energía renovable podría beneficiarse del Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL, que posibilitaría la emisión y comercialización de bonos de carbono. Considerando como línea de base para un proyecto una central térmica de la misma potencia utilizando gas natural como fuente de energía y un valor de 10 US\$/t de dióxido de carbono, se podría generar un ingreso anual adicional de unos US\$ 8,000,000. El TIR aumentaría entonces a 12% y el VAN a US\$ 240,000,000.

## **7. Proyección**

Conforme a los datos relevados por la empresa estatal Ande hasta el momento la cantidad de luminarias para AP, con que cuenta a nivel país es de 250.000 en distintos tipos de potencia. Según los datos del Sistema de Gestión Integrado de Distribución Eléctrica (SGIDE) esta cantidad se incrementaría a 400.000 luminarias en un plazo de 10 años. Para el estudio de pre-factibilidad que planteamos aquí, consideramos solo 160.000 luminarias a ser transformadas a alimentación con energía solar, distribuidos por clase de potencia conforme a la cantidad que se muestra en la figura 9.



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

■ 100W ■ 150W ■ 250W ■ 400W

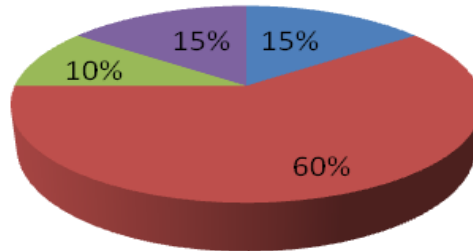


Figura. 9: Distribución de Luminarias tipo Alumbrado Público, año 2013 (fuente: ANDE)

Con la implementación de este tipo de proyecto estimamos una disminución de demanda de potencia en el sistema eléctrico paraguayo del orden de los 30MW en el horario de punta carga. Si a esto le adicionamos la incorporación de 2.000.000 de luminarias de bajo consumo asimilando a una lámpara incandescente de 100W y su similar de bajo consumo tipo LED de 15W, encontramos una disminución de 170MW, totalizando así una disminución de demanda de potencia de 200MW en el SIN. En el área del gran Asunción solo se cuenta con 120.000 luminarias, por lo que podría tenerse en cuenta para la implementación de un plan piloto.

## 8. Conclusiones

El presente trabajo, que representa recién un estudio de pre-factibilidad, quiere demostrar que es técnica- y económicamente factible la implementación de este tipo de tecnologías, para horas de punta sin contaminar el medio ambiente, cuya fuente de energía es totalmente renovable y además generada localmente. El beneficio económico de la implementación de proyectos en energías renovables en términos de ahorro sobre la contratación de potencia en Itaipú es considerable y permitiría amortizar la inversión necesaria en un plazo razonable.

Otro importante beneficio sería la creación de una importante cantidad de empleos, no solo durante la implementación del proyecto, sino también durante su operación. La propuesta es totalmente innovadora, dado que no se conocen hasta el momento proyectos con un enfoque similar.



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

**FoDAMI**

## Referencias

- [1] Plan Maestro de la Administración Nacional de Electricidad, (2011-2021)
- [2] Apuntes de la Maestría en Energía para Desarrollo sostenible, Universidad Politécnica de Cataluña (España) ,2011.
- [3] Norma IEC Transformadores de Potencia, Protecciones en Estaciones y Subestaciones
- [4] Norma NBR 5422, Construcción de Líneas de Transmisión, 2011.
- [5] Norma de Instalaciones en Baja Tensión, Administración Nacional de Electricidad, 2013.
- [6] Atmospheric Science Data Center: Surface meteorology and Solar Energy,  
<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/> (promedios mensuales de radiación solar global 1983-2005)
- [7] Wikipedia: Energía solar fotovoltaica (consultado el 19/03/2013)
- [8] <http://www.firstsolar.com/en/Projects/Agua-Caliente-Solar-Project> (consultado el 19/03/2013)