



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
06 y 07 de Setiembre de 2018

## RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

---

### **EFFECTO CAUSADO POR EL USO MASIVO DE CALENTADORES SOLARES EN SUSTITUCIÓN DE DUCHAS Y TERMOCALFONES ELÉCTRICOS SOBRE EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL ÁREA METROPOLITANO DE ASUNCIÓN**

**Jean Claude Pulfer, Felipe Mitjans, Christian Escobar, Ángel Figari**

**Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ingeniería, FIUNA**

**Administración Nacional de Electricidad, ANDE**

**Paraguay**

#### **RESUMEN**

El presente artículo tiene como objeto presentar los resultados de un estudio realizado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción (FIUNA), en el cual se determinó el consumo medio de energía eléctrica que representa el calentamiento de agua de uso sanitario en las viviendas del área metropolitana de Asunción para las estaciones de verano e invierno y el efecto que causaría sobre ese consumo la sustitución masiva de duchas y termocalefones eléctricos por calefones solares. Para eso se utilizó una metodología novedosa; Por un lado se realizó una encuesta entre 150 personas de diferentes edades, sexo y clase social sobre sus hábitos relacionados con la higiene corporal, sobre todo en lo que se refiere a frecuencia, horarios y duración de los baños diarios. Estos datos se cruzaron luego con datos oficiales de la demografía y del tipo de calentador de agua que utilizan las familias del área metropolitana de Asunción. Por otro lado se realizaron mediciones comparativas de consumo de energía eléctrica de 3 tipos de calentadores de agua (ducha eléctrica, termocalefón eléctrico de 80 l y calefón solar de 100 l) bajo condiciones reales para diferentes duraciones de uso diario y en distintas estaciones del año (verano, invierno). Como principales resultados se determinó que utilizando un calefón solar de 100 l de capacidad se tendría un ahorro familiar promedio del consumo anual de electricidad de 64% al sustituir una ducha eléctrica y de 53% al sustituir un termocalefón de 80 l. Las encuestas revelaron que la mayoría de la población de la zona de estudio se ducha dos veces al día, dándose las horas de mayor simultaneidad alrededor de las 6:00 h y las 20:00 h durante el año 2017. De esto se deduce que el mayor beneficio del uso masivo de los calentadores solares sería la reducción de la demanda de carga de potencia a las primeras horas de la noche en coincidencia con el horario de mayor pico de demanda y su consecuente beneficio operacional del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Al sustituir el 25% y el 50% de las duchas eléctricas en uso en el área metropolitana de Asunción se obtendría una reducción de la demanda de potencia para las 20:00 h de 130 y 260 MW respectivamente en invierno y 56 y 111 MW respectivamente en verano. En términos porcentuales estos valores representan una disminución para el invierno de 14,4% y 28,7% respectivamente y para el verano de 4,9% y 9,8% respectivamente.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
06 y 07 de Setiembre de 2018

## RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

---

**Palabras clave:** Calentador solar de agua, ahorro de energía eléctrica, curva de carga, hora pico, uso de agua caliente en viviendas.

### 1. INTRODUCCIÓN

El Paraguay tiene dos grandes desafíos en el ámbito de la energía eléctrica. Por un lado tiene una tasa de crecimiento promedio del 8% anual de la máxima carga, que actualmente alcanza 3200 MW. La ANDE proyecta que con este ritmo de crecimiento la actual disponibilidad de potencia de 7683 MW alcanzaría hasta el año 2029 aproximadamente [4]. Por otro lado, debido a inversiones históricamente insuficientes en el sistema de distribución, que son necesarias para paliar dicho crecimiento en horas pico se llega a menudo a situaciones de saturación, sobre todo durante el verano, principalmente debido al creciente uso de acondicionadores de aire a nivel residencial.

Para reducir las crecientes pérdidas de energía por sobrecarga y evitar el colapso del sistema de distribución se requiere un aumento de la capacidad de distribución o lo que sería una solución probablemente menos costosa, una disminución de los picos de consumo mediante medidas de eficiencia energética y la introducción de nuevas fuentes de generación de forma descentralizada. Esas medidas deberían ser en lo posible en armonía con el medio ambiente y con la economía, tanto a nivel macro, como a nivel de cada usuario.

Es allí donde la energía solar, sobre todo en su forma de aprovechamiento térmico para el calentamiento de agua para el uso sanitario, se presenta como una alternativa barata, limpia y vastamente favorecida por el clima del Paraguay, que cuenta con una radiación solar global media horizontal de 4,8 kWh/m<sup>2</sup> día para la región de la Capital Asunción[6]. Aunque no constituya la solución definitiva a todos los problemas, el uso de la energía solar establece un avance significativo en la búsqueda de un mejor servicio hacia los clientes del Sistema Eléctrico, tratando de asegurar la confiabilidad del sistema como la sustentabilidad del medio ambiente.

### 2. METODOLOGÍA

El presente estudio se realizó aplicando una metodología novedosa para poder cuantificar la cantidad de energía eléctrica y los horarios de consumo relacionados con el calentamiento de agua de uso sanitario en las residencias del área metropolitana de Asunción. Para el efecto se combinaron mediciones directas de consumo de electricidad en condiciones reales y una encuesta sobre los hábitos de la población en cuanto a la higiene personal entre 150 personas de distintas edades, sexo y clase social. Dicha encuesta tenía como principal objetivo determinar la distribución horaria de los baños y su duración media. La información obtenida de esa encuesta se combinó con datos demográficos y estadísticos del área metropolitana de Asunción relacionados con la distribución poblacional por edad y sexo, así como de los tipos de calentadores de agua que se usan en las



## RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

---

viviendas. En la encuesta anónima se preguntó a los encuestados su sexo, su rango de edad, la cantidad de veces que se baña por día, cuando usa agua caliente, que clase de calentador de agua tiene (ducha eléctrica, termocalefón eléctrico, otro) y los horarios que la persona se baña.

Las mediciones de consumo a su vez se realizaron en 2 viviendas ubicadas en Asunción utilizando los siguientes equipos de calentamiento de agua:

1. Ducha eléctrica de la marca Lorenzetti con una potencia nominal de 5500W, que es el modelo más utilizado en Paraguay.
2. Termocalefón eléctrico de 80 l de la marca Ariston con una resistencia de 1500W y termostato bimetálico.
3. Calentador solar de 100 l de la marca Thermosol de tipo termosifón compuesto de un tanque no presurizado con resistencia auxiliar de 1200W y un colector solar a base de tubos de vacío con inclinación de 45° y orientación hacia el norte instalado sobre la azotea de una vivienda con buena exposición solar.

Para la medición del consumo de electricidad del termocalefón eléctrico y del calentador solar se instalaron en cada sitio un medidor de energía analógico monofásico. Las temperaturas del agua se midieron mediante un termopar del tipo K conectado a un equipo digital de registro Minipa MTH-1362W. Para la medición de los caudales de agua se utilizó un medidor de agua analógica convencional con un caudal nominal de 1,5 m<sup>3</sup>/h y una presión nominal de 16 bar.

Con el objetivo de obtener una curva que represente la variación del consumo en función del tiempo de uso de cada equipo, se establecieron las siguientes consideraciones:

- Realización de las mediciones en las 2 estaciones extremas, es decir en verano y en invierno
- Se realizaron intervalos de medición de 5 minutos en el consumo de agua caliente iniciando la serie de mediciones con 5 minutos de uso y acabando con 70 minutos.
- Cada medición se realizó 2 veces por día, una a las 06:00 h y la otra a las 20:00 h coincidiendo con los horarios de mayor uso de agua caliente.
- Las mediciones del calentador solar fueron tomadas para todas las condiciones climáticas en los meses estudiados, por lo tanto los resultados de consumo son los valores promediados.
- Para la determinación del consumo de la ducha eléctrica se utilizaron simplemente el tiempo de uso del equipo y la respectiva potencia, es decir en verano en la posición de potencia reducida de 3080W y en invierno en la posición de máxima potencia de 5500W.
- El caudal representativo de consumo de agua caliente para el termocalefón y el calefón solar se fijó un valor de 4,5 l/min.
- En cada medición se midió primero la temperatura del agua fría.

**RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA****3. RESULTADOS****3.1 Resultados de la encuesta combinados con datos estadísticos**

Del Censo Nacional del 2012 [1] se obtuvieron los siguientes datos relacionados con la presencia de duchas eléctricas y termocalefones en las viviendas del Área Metropolitana de Asunción:

**Tabla 1: Presencia de termocalefones y duchas eléctricas en las viviendas del Área Metropolitana de Asunción, fuente: [1], elaboración propia, 2017.**

	Nro. familias	%
	418.960	100
<b>Termocalefón</b>		
Tiene	54.095	12,9
No tiene	364.865	87,1
<b>Ducha eléctrica</b>		
Tiene	268.420	64,1
No tiene	150.540	35,9

Asumiendo el caso de que cada familia no cuente con más que con un solo tipo de aparato en el hogar, entonces se tendría que las 268.420 familias con ducha eléctrica y las 54.095 familias con termo calefón suman en total 322.515 familias, arrojando como resultado que 96.445 familias no contarían con ninguno de los dos equipos. En el mismo cuadro también se evidencia la predominancia de la ducha eléctrica, lo cual no es beneficioso para el Sistema Eléctrico debido a la muy elevada demanda de potencia que conlleva su uso.

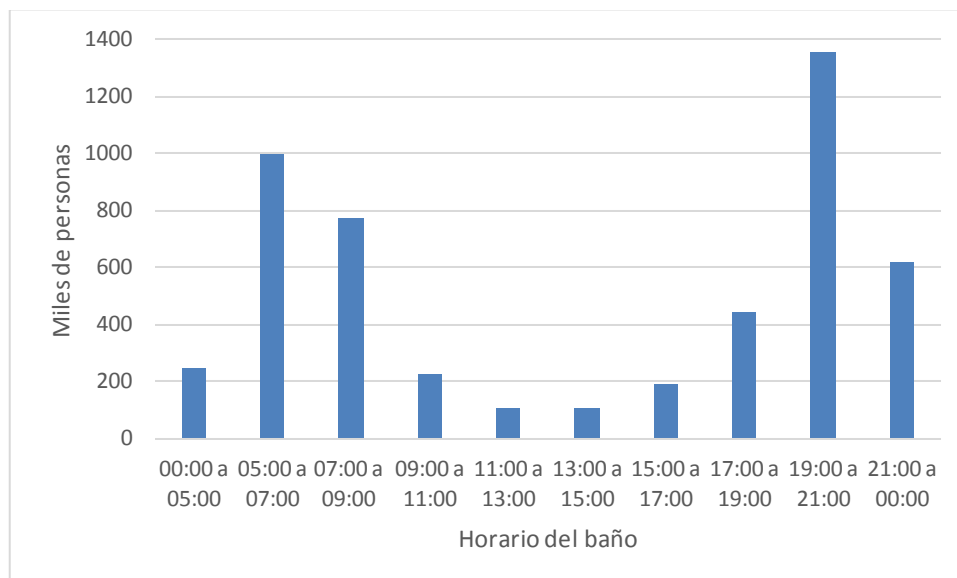
**Tabla 2: Duración de la ducha en función del sexo y la edad, fuente: elaboración propia, 2017.**

	Hombres				Mujeres			
Rango de edad (años)	0 a 12	12 a 25	25 a 60	>60	0 a 12	12 a 25	25 a 60	>60
Duración ducha (min.)	6,2	14,0	14,0	8,9	8,5	20,0	15,3	10,6

A partir de estos datos, y con los de la población del Área Metropolitana provenientes del Censo nacional del 2012 [1], se determinó la media ponderada de la duración de la ducha en base a la distribución de la población de acuerdo al sexo y la edad, cuyo valor es de 13,0 min. La encuesta realizada arrojó, que 16,0% de los encuestados se baña una vez al día, 75,3% dos veces y 8,3% tres o más veces. Se puede entonces considerar que la gente del Área Metropolitana de Asunción se baña en promedio dos veces al día.

**RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA**

Sobre la base de la encuesta, en la cual se preguntó a las personas sobre los horarios en los cuales se bañan se realizó una estimación de la cantidad total de personas del Área Metropolitana de Asunción que se baña simultáneamente de acuerdo a la hora del día. La figura 1 es una representación de esta estimación. Nótese que la sumatoria de los números supera a la población total, lo que se explica por el hecho que muchas personas se bañan más de una vez al día. Para los horarios del baño se ve una clara tendencia. Los picos se dan entre las 5:00 a las 9:00 h y entre las 19:00 y 21:00 h, lo cual no es sorprendente, porque están asociados principalmente con el inicio y fin de los horarios normales de las actividades laborales y de estudio de la mayoría de la gente.



**Figura 1: Horarios del baño, fuente: elaboración propia, 2017.**

### 3.2 Consumo anual de energía

Para obtener los valores anuales de consumo de energía eléctrica para cada sistema, debido a que no se hicieron mediciones durante todo un año, en primer lugar era necesario establecer un criterio para la cantidad de meses considerados como invierno y verano según las distintas variables, como la temperatura del agua, la temperatura del ambiente y las potencias desarrolladas. Una solución sencilla pero no por ello menos apropiada se encuentra al analizar el ciclo de temperatura del agua y el del ambiente. Estos ciclos son similares, porque a lo largo del año tienen una forma senoidal, alcanzando sus máximos valores en diciembre y sus mínimos en julio, por lo que es una buena aproximación para nuestro estudio considerar la media anual de estas temperaturas igual al promedio obtenido durante los meses en que se realizaron las mediciones.

**RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA**

La temperatura media del ambiente del año 2016 era de 25,8°C promediando los promedios mensuales de los 12 meses de dicho año. El promedio de las temperaturas que se tenían entre los periodos de medición en invierno y verano respectivamente es de 25,5°C, es decir un valor casi idéntico[7]. Se puede entonces considerar que los periodos de medición son representativos para todo el año para los cálculos de consumo.

De la encuesta se pudo determinar que en promedio cada integrante de una familia utiliza por día la ducha durante 13,0 min. dos veces al día. Así, si analizamos una familia de 2 integrantes, entonces el equipo correspondiente es utilizado durante 26,0 minutos de mañana y durante otros 26,0 minutos de noche; para 3 integrantes, 39,0 minutos y así sucesivamente.

Considerando los 2 baños diarios de 13,0 min. de duración c/u el consumo de energía diario medio de la ducha eléctrica para una persona se eleva en invierno ( $E_{inv}$ ) a 2,38 kWh (potencia 5500W) y en verano ( $E_{ver}$ ) a 1,34 kWh (potencia 3080W). Con 2 personas en la vivienda estos valores se duplican y así sucesivamente con cada persona adicional. Considerando que ambas estaciones son de igual duración (6 meses) el consumo anual (C) es el promedio aritmético entre ambos valores multiplicado por 365 días, es decir 679 kWh (ver tabla 3). Estos valores para la ducha eléctrica fueron calculados considerando su potencia según la estación y el tiempo de uso. De modo similar la tabla 3 indica los valores de consumo diario y anual tanto para el termocalefón como para el calefón solar. Dichos valores sin embargo fueron obtenidos experimentalmente a partir de las mediciones realizadas en verano e invierno para los distintos tiempos de uso variando entre 5 y 70 min., tanto a la mañana, como a la tarde y corroborando los resultados mediante cálculos.

**Tabla 3: Consumos diarios y anuales de energía eléctrica por tipo de equipo de calentamiento y en función de cantidad de integrantes de una familia en la vivienda, fuente: elaboración propia, 2017.**

# integrantes	Ducha eléctrica (kWh)			Termocalefón (kWh)			Calefón solar (kWh)		
	$E_{inv}$	$E_{ver}$	C	$E_{inv}$	$E_{ver}$	C	$E_{inv}$	$E_{ver}$	C
1	2,38	1,34	679	2,9	1,7	840	0,75	0,00	137
2	4,77	2,67	1357	4,4	2,6	1278	1,90	0,85	502
3	7,15	4,01	2036	6,2	3,1	1697	2,70	1,30	730
4	9,53	5,34	2714	7,4	4,2	2117	3,60	1,72	971
5	11,92	6,68	3393	8,9	6,1	2738	5,00	2,10	1296

Se pueden observar las siguientes tendencias:

- El calefón solar representa en todos los casos los consumos más bajos, sin embargo su eficiencia en comparación con la ducha eléctrica disminuye con la cantidad de integrantes en la vivienda (1 integrante: ahorro = 80%, 5 integrantes: ahorro = 62%). Eso se explica por el hecho que el calefón solar de 100 l es relativamente pequeño, ya que es recomendado para un máximo

## RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

de 2 a 3 usuarios. Para 4 a 5 usuarios se debería pasar a un calefón solar de 180 a 200 l para lograr un rendimiento energético alto.

- En verano el calefón solar tiene una eficiencia mucho mayor que en invierno debido a la mayor oferta de radiación solar, pero también de la mayor temperatura del ambiente y del agua fría.
- Para el termocalefón se observa un fenómeno similar de consumo entre verano e invierno que se debe también a las diferencias de temperatura del ambiente y del agua fría.
- Para 1 integrante en la vivienda el termocalefón genera en ambas estaciones un consumo eléctrico algo mayor que la ducha eléctrica. En los demás casos el termocalefón es más eficiente que la ducha eléctrica.

### 3.3 Análisis de la curva de carga

Es interesante analizar finalmente cómo puede, en términos de potencia, beneficiar al Sistema Metropolitano un reemplazo a gran escala de los equipos convencionales por el calentador solar. Si bien la curva de carga para cualquier sistema se elabora para cada día del año, es posible determinar un promedio para períodos mayores [2]. Para el estudio presente, considerando que las mediciones fueron realizadas en los meses de julio, agosto, diciembre y enero, decidimos tomar los valores medios de los primeros dos meses para invierno y de los otros dos para verano. De esta manera se obtienen, para el Sistema Metropolitano, las curvas presentadas en la figura 2. En la curva del verano se notan dos picos, el primero entre las 14:00 y 16:00 h y el segundo entre las 20:00 y 22:00 h. En invierno hay un solo pico que se produce entre las 18:00 y 20:00 h.

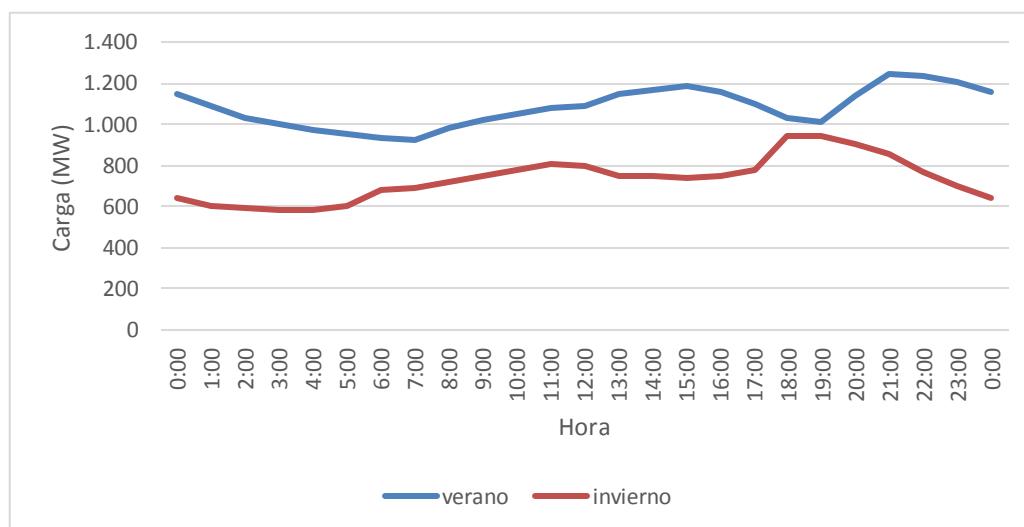


Figura 2: Curva de carga promedio del Sistema Metropolitano en invierno y verano fuente: [2] y elaboración propia, 2018.





Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
06 y 07 de Setiembre de 2018

## RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

---

Para el estudio de la influencia de la sustitución de las duchas eléctricas y termocalefones por calefones solares sobre el sistema eléctrico del Área Metropolitana de Asunción se estudiaron los siguientes dos escenarios:

1. Reemplazo del 25% de las duchas eléctricas por calefones solares
2. Reemplazo del 50% de las duchas eléctricas por calefones solares

No se consideró la sustitución de termocalefones, dado que su influencia en la reducción de la carga sería mínima, tanto por su difusión muy inferior en comparación con la de las duchas eléctricas, como por su potencia eléctrica también muy inferior a la de las duchas eléctricas.

Para entender la curva de carga del calentador solar, cabe mencionar lo siguiente: En las primeras horas de la mañana el comportamiento es igual al de un termocalefón, pero a medida que asciende la temperatura del agua por acción de la radiación solar a lo largo del día, disminuye progresivamente la posibilidad de que el termostato encienda la resistencia luego del uso. Eventualmente, los calefones solares que fueron utilizados por la tarde, una vez haya cesado la acción del sol, perderán calor promoviendo el consumo generalmente entre las 00:00 y las 04:00 h aproximadamente. Todo esto se traduce en una demanda que debe ser totalmente despreciable por las tardes hasta la medianoche, pero también en otra ya significativa por la madrugada y primeras horas del amanecer. El criterio utilizado para determinar la energía consumida durante la madrugada fue que todos los baños posteriores a las 13:00 h son aquellos que tendrán cero consumos durante el uso, pero harán que el termostato encienda debido exclusivamente a la pérdida de calor con el transcurrir de la noche.

Sobre esta base y calculando los factores de simultaneidad de las duchas eléctricas y calefones solares para los distintos horarios del día se realizaron las estimaciones del cambio de la carga al sustituir 25 y 50% respectivamente de las duchas eléctricas por calefones solares para el invierno y para el verano. Los resultados de dichos cálculos pueden apreciarse en las figuras 3 y 4 que muestran las curvas de carga correspondientes. Sobre todo en invierno se puede observar una disminución significativa en el pico del inicio de la noche, pero aumenta la carga en la madrugada por el efecto de las resistencias auxiliares de los calefones solares. Se produce entonces una suavización de la curva.



XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
06 y 07 de Setiembre de 2018

RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

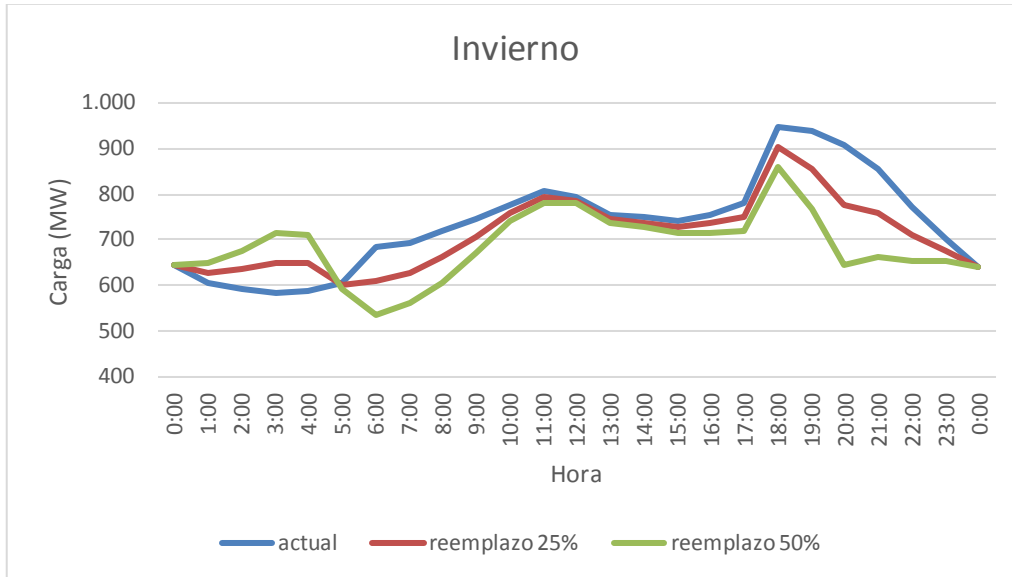


Figura 3: Curvas de carga en invierno: actual, con 25% y 50% de reemplazo de duchas eléctricas por calefones solares, fuente: [2] y elaboración propia, 2018.

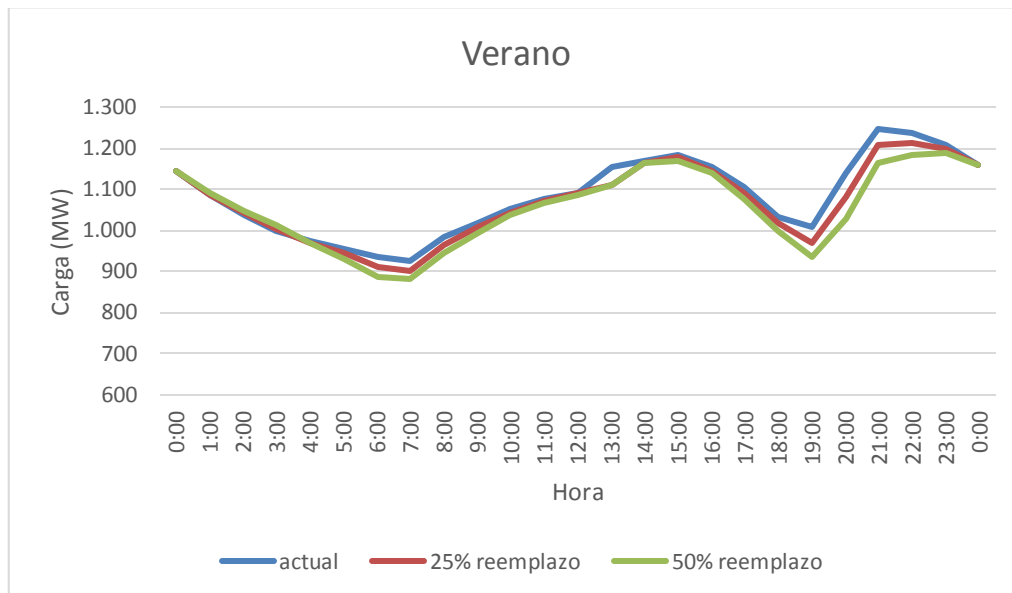


Figura 4: Curvas de carga en verano: actual, con 25% y 50% de reemplazo de duchas eléctricas por calefones solares, fuente: [2] y elaboración propia, 2018.



## RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

---

En invierno, el pico de demanda es a las 18:00 h. Sin embargo, la mayor reducción se da para las 20:00 h con 14,4 % y 28,7 % respectivamente según el escenario. En verano por otro lado, se tienen 2 picos: el primero a las 15:00 h y otro a las 21:00 h. No obstante, la influencia durante el primero no es significativa. Este puede ser atribuido al uso de los acondicionadores de aire ya que en las horas de la siesta se tiene generalmente la temperatura más elevada del ambiente. La mayor reducción se logra a las 20:00 h aproximadamente, con 4,9% y 9,8% respectivamente según el escenario.

### 4. CONCLUSIONES

La utilización de un calentador solar de tubos de vacío de 100 litros permite un ahorro familiar promedio del consumo de energía anual del 64% al sustituir a la ducha eléctrica y uno del 53% al sustituir a un termo calefón de 80 litros. No obstante, al ser utilizado por más personas para las que fue proyectado es reducida la eficiencia (100 l se recomienda para un uso de 2 a 3 personas).

Los resultados de la encuesta realizada en este estudio, dan una tendencia que la mayor parte de la población del Área Metropolitana se baña 2 veces por día, dándose las horas de mayor simultaneidad alrededor de las 06:00 h y las 20:00 h. De esto se deduce que el mayor beneficio del uso masivo de los calentadores solares sería la reducción de la demanda de potencia alrededor de las 20:00 h, en coincidencia con el horario de pico de demanda en verano en nuestro país, y su consecuente beneficio operacional del SIN.

Debido al impacto notablemente mayor de las duchas eléctricas sobre el sistema eléctrico con respecto a los termocalefones, se plantearon dos escenarios: el reemplazo del 25% y el del 50 % de las duchas existentes en el área Metropolitana por calentadores solares. Teniendo en cuenta el Sistema Eléctrico Metropolitano, en invierno, el pico de demanda es a las 18:00 h. Sin embargo la mayor reducción se da para las 20:00 h con 14,4 % (130 MW) y 28,7 % (260 MW) para el primer y segundo escenario respectivamente. En verano por otro lado, el pico se da a las 21:00 h y la mayor reducción se logra en las horas cercanas, alcanzándose un máximo a las 20:00 h con 4,9% (55,5 MW) y 9,8% (111 MW) para los escenarios propuestos. Esta disminución del porcentaje de ahorro se debe a la menor cantidad de gente que utiliza agua caliente en verano y al menor consumo de la ducha eléctrica.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
06 y 07 de Setiembre de 2018

## RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

---

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Dirección General de Estadísticas y Censos (DGEEC), Censo Nacional de Población y Viviendas, 2012.
- [2] Administración Nacional de Electricidad (ANDE): Departamento de Distribución, 2016.
- [3] Felipe Mitjans "Effect of the use of solar street lights and LED lamps in residents on the Paraguayan grid and its profitability." IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) 13.1 (2018): 37-42.
- [4] Master Plan for the National Electricity Administration (Ande) (2011-2021).
- [5] Atmospheric Science Data Center: Surface meteorology and Solar Energy, <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/> (monthly averages of global solar radiation from 1983 to 2005).
- [6] Parque Tecnológico Itaipú, "Potencial Energético Solar y Eólico", <http://pese.pti.org.py/> consultado junio 2017 .
- [7] Dirección Nacional De Aeronáutica Civil (DINAC), 2013.