

# Uso racional de la energía en edificios públicos

Fermin Acuña, Gustavo E. Kazlauskas y Carlos J. Verucchi  
 Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires  
 Facultad de Ingeniería, Departamento de Electromecánica  
 gkazlaus@fio.unicen.edu.ar



**Palabras clave:** Uso racional de la energía, costos energéticos, instalaciones eléctricas

## Introducción

Hace varios años que se ha instalado el concepto de uso racional y eficiente de la energía en principio por los escasos recursos naturales existentes para generar la electricidad con energía primaria [1]. Por tal motivo, se habla de recursos renovables y no renovables que son principalmente: el hidráulico, el eólico y el solar; y por otro lado los de origen fósil [2].

En la actualidad el concepto de uso racional y eficiente de la energía tiene diversas definiciones [3]. Entre tantos, el más adecuado, es una baja en el consumo energético o el uso óptimo de la energía. Este concepto merece alguna reflexión: el uso óptimo de la energía se trata de usarla en la medida de las necesidades reales, con las actividades normales en una industria o sector comercial, sin disminución de la productividad, sin alterar la calidad de vida del usuario y con la utilización de los mejores equipos eléctricos en cuanto a su rendimiento y efectividad. Con ello se logra una disminución en el consumo energético, y por ende de su facturación.

Además es necesario implementar una serie de medidas políticas referidas a un cambio de cultura para utilizar la energía en forma adecuada y sin excesos. Es decir realizar las actividades normales evitando utilizar un consumo mayor y sin derrochar. Por consiguiente, el ahorro del consumo energético se puede lograr por tres caminos, uno es el tecnológico, otro es la calidad en la construcción de edificios y finalmente la conducta ciudadana. Y si convergen las acciones mencionadas los beneficios son múltiples.

Para las actividades del sector público, "Es deseable un estado moderno y competente en el uso racional y eficiente de los recursos energéticos; esta idea es sinónimo de una buena administración" [3] la cual incluye los

establecimientos educacionales desde la etapa inicial hasta la formación universitaria.

Para realizar esta tarea técnica se debe contar con especialistas adecuados con el fin de planificar adecuadamente el consumo energético, utilizar el reemplazo adecuado, implementar energías renovables en edificios públicos, calcular envolventes térmicas, utilizar domótica, estudiar la circulación de aire en las instalaciones, realizar diagnósticos energéticos, entre las más importantes.

Los consumos energéticos generales apuntan al sector residencial [3] cuya participación es del 35% de la electricidad total que se consume en el país y se estima que el ahorro energético alcanzaría un 30%. La disminución del consumo, entre otros, se aborda con el régimen de etiquetado de electrodomésticos. La cual los consumidores adquieren equipos más eficientes a lo largo de su vida útil. Para ello se cuenta con las normas [4], [5] y [6], y una resolución de ex SICyM 319/99 la cual describe los equipos que pueden ser reemplazados con mayor éxito.

En lo que respecta al sector industrial, que representa aproximadamente el 35% del consumo eléctrico [3], tiene un potencial de ahorro que puede llegar al 20%. En tal sentido, el principal equipo eléctrico utilizado para realizar las actividades de producción, es el motor eléctrico; el que puede representar el 70% de la electricidad utilizada en su proceso. Es sumamente importante reemplazar los motores eléctricos a clase IE3 y IE4 [7].

Finalmente, los edificios públicos bajo jurisdicción nacional y provincial, como también de los establecimientos educacionales [3]: desde la etapa inicial hasta la final representan el 3 y 4 % del total consumido de electricidad del total del

país, con un potencial de ahorro energético que ronda entre el 10 y el 30%.

En la Argentina, la iluminación representa aproximadamente el 35% del consumo eléctrico residencial y aproximadamente el 25% de consumo eléctrico total [9].

Los objetivos de este trabajo son: encontrar soluciones para el ahorro energético en organismos nacionales de la administración pública y de educación, potenciando el uso racional y eficiente de la energía, incorporar nuevas tecnologías con el fin de cumplir el punto anterior y obtener una disminución del costo energético.

El alcance de este estudio, por las características de sus cargas y a modo de ejemplo, se centra en un establecimiento educacional superior con sedes en Tandil, Azul y Olavarría.

## Relevamiento eléctrico

### Instalaciones existentes

Durante el año 2017, se llevó a cabo un relevamiento de cargas eléctricas conectadas en cada fase de la red eléctrica y en las distintas sedes de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN), para identificar problemas y buscar soluciones al elevado consumo energético que se registró en los últimos meses. En este proyecto solo se utiliza la información compactada para poder realizar el cálculo de las potencias consumidas y las energías asociadas a la tecnología actual y su mejora.

### Facturación de electricidad

Se procesaron las facturas de energía eléctrica de las distintas sedes de la UNICEN con el fin de calcular la energía consumida en el último año. En el siguiente cuadro resumen llamado

Detalle	Sede Quequén	Sede Azul	Sede Olavarría	Sede Tandil
Consumo anual [kWh]	3.441	335.255	321.579	2.241.548
Total anual [kWh]				2.901.823

Tabla 1. Consumos energéticos totales por sede y anual

tabla 1 se muestran los consumos, diferenciados entre sedes y total.

Como puede observarse en la tabla 1 el consumo de energía, crece con la cantidad de instalaciones en cada sede. El mayor consumo energéticos es Tandil (debido a que cuenta con 5 facultades), ascendiendo al 77,2%; luego esta Azul con el 11,6% (dos sedes), Olavarría con el 11,1% (dos sedes) y en menor medida la facultad de Quequén.

Durante el relevamiento de datos se observó que, debido a la ineficiencia de las instalaciones edilicias, en algunos casos, el personal de la facultad debe recurrir a métodos alternativos de calefacción durante los meses más fríos. Aunque los grosores de las paredes son los adecuados, según se ha determinado por el equipo de trabajo de ingeniería civil, que las aberturas y cerramientos presentan resistencias térmicas bajas, produciendo que los equipos de calefacción de las instalaciones no calefaccionen correctamente.

Los métodos de calefacción alternativos, elegidos por el personal, varían desde colocar aires acondicionados Split o utilizar estufas de cuarzo. En ambos casos, el consumo de estos artefactos es muy elevado, si se tiene en cuenta que las estufas de cuarzo tienen una potencia que oscila entre los 1000 a 2000 W, y los aires acondicionados entre 2000 hasta 6000 W.

### Determinación del monómico

Para el análisis económico se realizan algunas estimaciones dado que el algoritmo de facturación es complejo según el cuadro tarifario; y hay algunos ítems tal como la Resolución 208 ICM y la MIYSP 419/17 que no se disponen los mecanismos de cálculos. Los mismos son entregados por CAMMESA a la distribuidora local y trasladados al cliente, por lo que se propone utilizar el monómico mensual correspondientes al periodo de julio de 2016 a julio de 2017 tal como se muestra en la tabla 2.

El monómico es calculado en \$/kWh en vez de la unidad tradicional. Este indicador depende del consumo de energía de cada cliente y de la

Campus de Tandil	\$/kWh
Julio 2016	1,14
Agosto 2016	0,97
Septiembre 2016	2,20
Octubre 2016	2,20
Noviembre 2016	2,18
Diciembre 2016	2,26
Enero 2017	2,85
Febrero 2017	2,40
Marzo 2017	2,23
Abril 2017	2,23
Mayo 2017	2,15
Junio 2017	2,12

Tabla 2. Valores de monómicos mensuales de Tandil en el periodo 2016-2017.

forma en que gasta este recurso energético, por tal motivo se calculan los mismos para las ciudades de Tandil, Olavarría y Azul.

De la tabla 2 se desprende que el monómico promedio es de 2,11 \$/kWh con una carga impositiva del 25,2%. Para el resto de las localidades los valores resultan 1,95 para Olavarría y 2,06 \$/kWh para Azul. La diferencia sustancial entre estas dos últimas sedes es la carga impositiva de 29,4 y 37,7 % respectivamente.

### Relevamiento de cargas

#### Equipos conectados en la UNICEN - TANDIL

Del relevamiento realizado en la sede de Tandil, se obtuvieron fundamentalmente las características del equipamiento que podrían ser reemplazados por otra tecnología. En la figura 1

se muestran el conjunto de las cargas.

En la figura 1 se muestra las cargas con mayor posibilidad de reemplazo que son: la iluminación y los aires acondicionados. Para la primera de ellas en la equivalencia, se tuvieron en cuenta otros factores técnicos adicionales como son: análisis del flujo luminoso de cada una de las luminarias y la distribución de la luminancia en el plano de trabajo. Este análisis excede el objetivo del presente artículo y aquí se muestran las equivalencias y los ahorros energéticos.

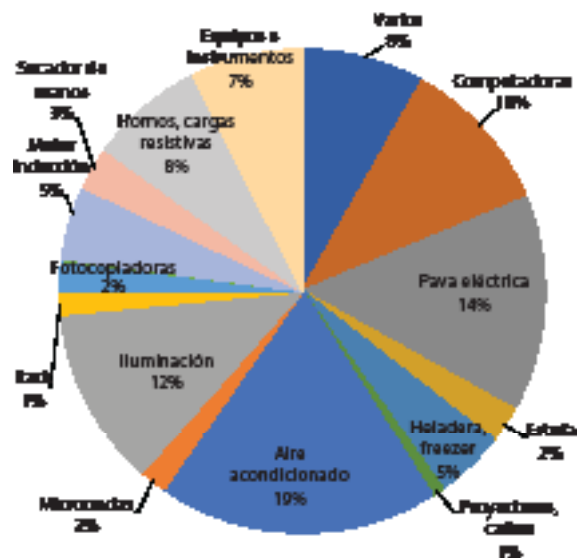


Figura 1. Relevamiento de cargas en la UNICEN-TANDIL.

Sede Tandil					
Luminaria	Cantidad	Reemplazo	Potencia original [W]	Potencia reemplazos [W]	Ahorro %
Fluorescente 36 W	4.617	Tubo led 18 W	166.212	83.106	50,00
Lámpara 30 W	1.289	Lámpara led 10 W	38.670	12.890	66,67
Lámpara 105 W	16	Lámpara led 45 W	1.680	720	57,14
Dicroica 50 W	26	Dicroica led 7 W	1.300	182	57,14
Reflector 150 W	16	Reflector led 50 W	2.400	800	66,67
Reflector 500 W	20	Reflector led 200 W	10.000	4.000	60,00
Lámpara mercurio 150 W	16	Reflector led 50 W	2.400	800	66,67
Lámpara mercurio 400 W	16	Reflector led 200 W	6.400	3.200	50,00
Totales			229.062	105.698	53,86

Tabla 3. Tipos de luminarias y potencias conectadas con la vieja tecnología y la propuesta

En la tabla 3 se observa un ahorro en la potencia equivalente de todos los reemplazos del 54% de promedio.

Otra de las cargas a reemplazar, son los equipos de aire acondicionado que representan la potencia consumida más importante del campus; y esto hace que tengan una gran incidencia en el consumo energético. Estos equipos presentan hoy en día una alternativa, conocida como tecnología inverter. Se trata de la incorporación de un equipo electrónico que permite la regulación de la velocidad del motor que acciona al compresor del aire acondicionado. De esta forma, puede regularse la potencia consumida, ajustándose a la necesidad que tenga el equipo de enviar más o menos caudal de aire. Combinando el inversor con un sistema de control que mide la temperatura ambiente, el equipo va regulando continuamente la temperatura sin necesidad de funcionar al máximo de su potencial. Salvo en momentos particulares como en los arranques, que el equipo inverter acciona el motor del compresor de manera que minimiza el transitorio la corriente, lo que también proporciona un ahorro energético. Esta es una gran ventaja respecto de los equipos tradicionales, ya que estos deben funcionar a plena potencia nominal, lo que hace que los saltos térmicos sean mucho mayores que en los equipos inverter.

El sistema de control de estos equipos minimizan los saltos térmicos y por consiguiente la

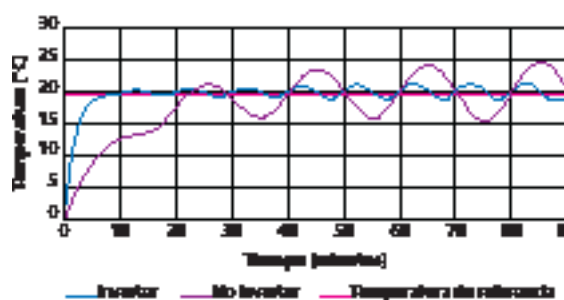


Figura 2. Control de temperatura de los equipos de aire acondicionado inverter y tradicional

Equipo	Cantidad
Aire acondicionado 2,5 kW	41
Aire acondicionado 1,5 kW	29
Aire acondicionado 2 kW	25
Aire acondicionado 4 kW	8
Aire acondicionado 6 kW	6

Tabla 4. Potencias y equipos utilizados en el Campus Tandil

Luminaria	Sol		Horas de actividad con luz natural	Horas de actividad sin luz natural
	Salida	Puesta		
Enero	5.75	20	12	1
Febrero	6	20	12	1
Marzo	6.75	19.5	11.5	1.5
Abril	7	18.75	10.75	2.25
Mayo	7.5	18.75	10	3
Junio	8	18	10	3
Julio	8	18	10	3
Agosto	7.75	18	10	3
Septiembre	7	18.5	10.5	2.5
Octubre	6.5	19	11	2
Noviembre	6	19.5	11.5	1.5
Diciembre	5.5	20	12	1

Tabla 5. Resumen de horas de funcionamientos de las luminarias por día tipo

energía, tal como se muestra en la figura 2.

En la tabla 4 se muestran los equipos que se encuentran conectados hasta el 2017.

Para determinar un ahorro energético, deben estimarse los tiempos de utilización de estos equipos.

### Estimación de horas de funcionamiento

Para el análisis de la energía es necesario estimar las horas de uso de cada luminaria, de las que pueden realizarse los siguientes comentarios: los meses invernales las horas diurnas son

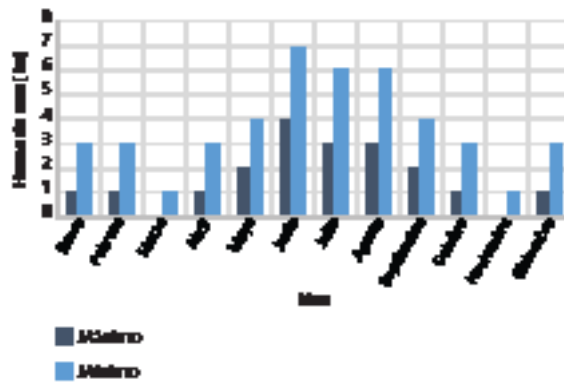


Figura 3. Estimación de horas de funcionamiento de equipos frío/calor respecto del mes del año

menos y se ha observado que las luces permanecen encendidas gran parte del día, incluso en horarios cercanos al mediodía. Esta situación podría revertirse si se buscaran alternativas para el aprovechamiento de la luz natural y la adecuada capacitación a todo el personal de la Universidad. Medidas como éstas deberían ser tenidas en cuenta para futuras edificaciones, ya que implicarían otro tipo de filosofía en cuanto a lo edilicio. Por ejemplo, la orientación de los edificios juega un rol fundamental, o también, la proyección de sombras de otros edificios aledaños.

La situación actual de las horas de uso es estimada mediante suposiciones o hipótesis de cálculo, y en base a estas, se establecieron márgenes de incertidumbre como se muestra en la tabla 5. Dentro de estos márgenes se encuentra la situación real. Primero se hizo una estimación de la cantidad de horas por día que las luminarias podrían estar encendidas según la actividad de la universidad y horas de luz solar por día y para los distintos meses.

Para el caso de la estimación de horas de funcionamiento de los aires acondicionados, en la figura 3 se muestra las estimaciones realizadas durante el año 2017 en función de la temperatura promedio y la actividad del campus en función de las demandas energéticas registradas figura 4.

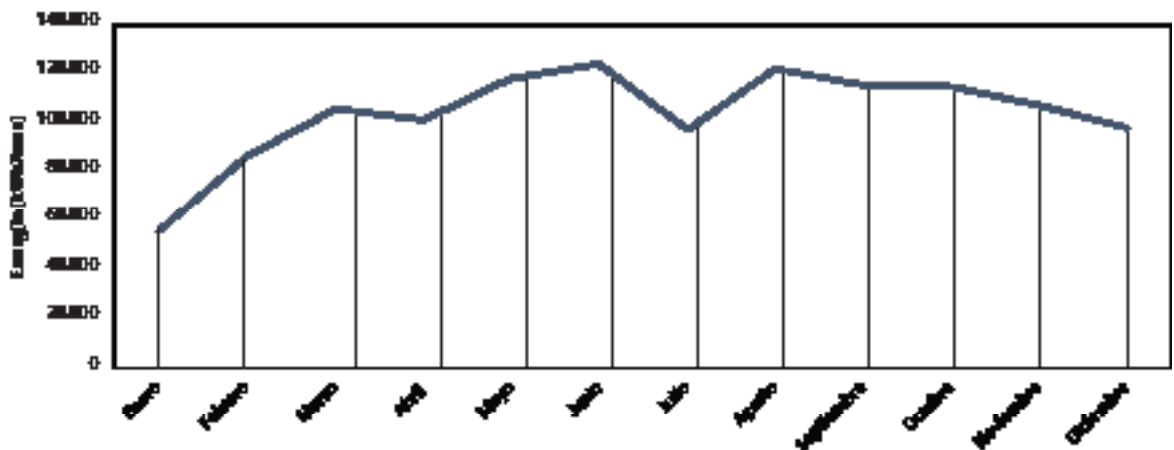


Figura 4. Curva de demanda real durante los meses del estudio.

Mes	Factor simultaneidad con luz natural		Factor simultaneidad sin luz natural	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Enero	13%	22%	19%	33%
Febrero	20%	34%	30%	51%
Marzo	24%	42%	37%	62%
Abril	23%	40%	35%	60%
Mayo	27%	47%	41%	70%
Junio	29%	49%	43%	73%
Julio	22%	38%	34%	57%
Agosto	28%	48%	42%	72%
Septiembre	27%	45%	40%	68%
Octubre	27%	45%	40%	68%
Noviembre	25%	42%	37%	63%
Diciembre	23%	38%	34%	58%

Tabla 6. Valores de factores de simultaneidad máximos y mínimos calculados sobre la base de las mediciones en terreno

Total universidad	Energía [kWh/mes]	Ahorro energía led [kWh/mes]	
		Mínimo	Máximo
Julio	233.692	11.610	23.220
Agosto	279.156	15.480	27.090
Septiembre	260.669	15.480	23.220
Octubre	258.610	15.480	23.220
Noviembre	241.228	11.610	23.220
Diciembre	229.142	11.610	19.350
Enero	140.894	7.740	11.610
Febrero	202.459	11.610	19.350
Marzo	251.538	11.610	23.220
Abril	237.038	11.610	23.220
Mayo	275.522	15.480	27.090
Junio	291.875	15.480	27.090
<b>Total anual</b>	<b>2.901.823</b>	<b>154.800</b>	<b>270.900</b>

Tabla 7. Ahorro energético general para el recambio por led para la Universidad

Total universidad	Energía [kWh/mes]	Ahorro energía led [kWh/mes]	
		Mínimo	Máximo
Julio	233.692	3.473	10.409
Agosto	279.156	3.473	10.409
Septiembre	260.669	0	3.470
Octubre	258.610	3.473	10.409
Noviembre	241.228	6.946	13.879
Diciembre	229.142	13.891	24.288
Enero	140.894	10.418	20.819
Febrero	202.459	10.418	20.819
Marzo	251.538	6.946	13.879
Abril	237.038	3.473	10.409
Mayo	275.522	0	3.470
Junio	291.875	3.473	10.409
<b>Total anual</b>	<b>2.901.823</b>	<b>65.983</b>	<b>152.670</b>

Tabla 8. Ahorro energético general para el recambio por tecnología Inverter para la UNICEN

Total universidad	Energía [kWh/mes]	Ahorro energía led [kWh/mes]	
		Mínimo	Máximo
Julio	233.692	15.083	33.629
Agosto	279.156	18.953	37.499
Septiembre	260.669	15.480	26.690
Octubre	258.610	18.953	33.629
Noviembre	241.228	18.556	37.099
Diciembre	229.142	25.501	43.638
Enero	140.894	18.158	32.429
Febrero	202.459	22.028	40.169
Marzo	251.538	18.556	37.099
Abril	237.038	15.083	33.629
Mayo	275.522	15.480	30.560
Junio	291.875	18.953	37.499
<b>Total anual</b>	<b>2.901.823</b>	<b>220.783</b>	<b>423.570</b>

Tabla 9. Ahorro energético general para el recambio de luminarias led y tecnología Inverter para la UNICEN

En la tabla 4 se pueden observar los factores de simultaneidad en porcentajes en base a lo mencionado anteriormente. Este procedimiento fue realizado para dos casos distintos que son: con luz natural y sin luz natural, por consiguiente se obtienen valores máximos y mínimos de acuerdo con lo mostrado en esa tabla.

Para el caso de los aires acondicionados, los factores de simultaneidad utilizados son los más desfavorables teniendo en cuenta que los docentes con dedicación exclusiva trabajan 8 horas corridas y que todos ellos coinciden en espacio de ocupación de sus oficinas, por lo tanto el factor de simultaneidad es unitario.

Total universidad	Costo total [\$/mes]	Ahorro económico Inverter + led[\$/mes]	
		Mínimo	Máximo
Julio	266.408,88	17.215,23	38.383,95
Agosto	270.781,32	18.327,95	36.263,07
Septiembre	573.471,80	33.963,21	58.557,52
Octubre	568.942,00	41.712,52	74.013,63
Noviembre	525.877,04	40.449,05	80.871,94
Diciembre	517.860,92	57.601,86	98.570,43
Enero	401.547,90	51.728,53	92.381,11
Febrero	485.901,60	52.961,75	96.575,75
Marzo	560.929,74	41.450,28	82.873,75
Abril	528.594,74	33.709,48	75.160,36
Mayo	592.372,30	33.286,45	65.712,29
Junio	619.775,00	40.147,57	79.434,63
<b>Total anual</b>	<b>5.911.463,24</b>	<b>462.553,88</b>	<b>878.798,42</b>

Tabla 10. Ahorro de costos del recambio de luminarias led y tecnologías Inverter en la UNICEN.

Total universidad	Ahorro económico Inverter + led[%/mes]	
	Mínimo	Máximo
Julio	6%	14%
Agosto	7%	13%
Septiembre	6%	10%
Octubre	7%	13%
Noviembre	8%	15%
Diciembre	11%	19%
Enero	13%	23%
Febrero	11%	20%
Marzo	7%	15%
Abril	6%	14%
Mayo	6%	11%
Junio	6%	13%
<b>Total anual</b>	<b>7%</b>	<b>13%</b>

Tabla 11. Porcentajes finales del recambio de luminarias led y de tecnologías Inverter en la UNICEN

### Equipos conectados en otras sedes

Del mismo modo, para las sedes de Azul y de Olavarría se realizó el mismo procedimiento desarrollado en el punto anterior. Es decir relevamiento eléctrico, reemplazos en iluminación y en equipos de aires acondicionados, la estimación de horas de funcionamiento en función de los márgenes máximo y mínimo y los factores de simultaneidad. De esta manera se obtienen los valores de energía ahorrada, costos asociados y porcentajes por cada ciudad.

### Ahorro energético y costos globales asociados

Finalmente se presentan los resultados globales de unir las mejoras máximas y mínimas en el recambio de las luminarias y aires acondicionados en todas las sedes, presentados en kWh/mes, pesos y porcentajes. Se debe recordar que los cálculos son conservadores, con lo que puede esperarse ahorros aún mayores.

En la tabla 7 se puede observar que el ahorro energético para el recambio de iluminación por LED proporciona una mejora entre el 5,3 a 9,3% sobre el total. Es decir que se espera una máxima mejora del orden del 9% solo con el recambio en luminarias.

En la tabla 8 se muestra la mejora esperada por el recambio de la tecnología en aires acondicionados de la UNICEN, encontrándose entre un 2,3 a 5,3%. Este porcentaje máximo es la mitad que en caso anterior, tecnología LED, por lo que debe realizarse un análisis entre los costos de inversión y operación de los mismos para justificar los reemplazos.

En la tabla 9 se muestra el ahorro general de la propuesta de este trabajo que asciende finalmente a un baja en kWh que oscila entre el 7,6 a 14,6%. El ahorro general en energía es importante y asciende como máximo al 15% aproximadamente. Además, hay que considerar una baja sustancial en la potencia consumida, ítem que es importante en el cuadro tarifario T3BT en su costo por potencia, principalmente en horario pico (18 a 23 hs).

En la tabla 10 se puede observar la mejora en pesos registrada con la propuesta que alcanzaría un mínimo y máximo de 7,8 a 14,9% respectivamente.

Finalmente en la tabla 11 se muestran los porcentajes de mejoras por mes y totales. Según los meses del año se puede ver que la incidencia del ahorro es mayor o menor, resultando una



mejora máxima los meses que solo se utiliza la iluminación, principalmente nocturna.

## Conclusión

Los resultados obtenidos en el presente artículo revelan que, con pocos cambios en lo que respecta a la situación actual de la Universidad, se puede lograr un ahorro energético apreciable en el plazo de un año. Este ahorro, estimando conservativamente, representa entre el 8 y el 15% de la energía total consumida por la universidad, y es equivalente al consumo del campus de Azul o de Olavarría en un año. Esto implica que, al realizar la inversión para su reemplazo en el corto tiempo son amortizados y luego es ganancia neta. Hay que recordar que la vida útil de los equipos de alta eficiencia es superior a las 50000 hs de uso, con lo cual la propuesta es altamente conveniente. No hay que olvidar también, que debe hacerse una campaña de concientización a todo el personal involucrado en las actividades de la Universidad para lograr utilizar el recurso energético solo cuando es necesario. El nuevo enfoque mundial se basa en la concientización por parte de los pequeños, medianos y grandes usuarios, para lograr en conjunto como sociedad, un consumo menor de nuestros recursos. Hoy en día, gracias al avance de la tecnología, es posible resolver en parte el problema de la crisis energética y el cambio climático haciendo aportes individuales por parte de los distintos actores que conforman nuestra sociedad, sin necesidad de instalar nuevas centrales de generación. Las universidades son los centros de desarrollo y crecimiento de nuestra sociedad en materia humana y tecnológica.

Que existan debates continuos en donde se sugieran mejoras, que se escuchen distintas ideas. Los profesionales deben sentirse parte del cambio de paradigma que atraviesa el mundo y las universidades deben dar el ejemplo para guiar el futuro de nuestra sociedad. ■

## Bibliografía

- [1].Pearce, David W. y Turner, Kerry R. "Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente". Colegio de Economistas de Madrid. Celeste Ediciones, Madrid, 448p, 1995.
- [2].Gunter Schaumann, "The efficiency of the rational use of energy", available online [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), Elsevier, 2007, 10p.
- [3].Alvarez, M., Baragatti, Alicia. "Hacia el uso racional y eficiente de la energía en la administración pública nacional", Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable, ISBN 978-987-1323-47-0, 2016, 217p.
- [4].IRAM 2141-3 (2017): "Lavarropas eléctricos. Etiquetado de eficiencia energética", Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Argentina.
- [5].IRAM 2294-3 (2016): "Lavavajillas electrodomésticos. Etiquetado de eficiencia energética", Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Argentina.
- [6].IRAM 2404-3 (2015): "Etiquetado de eficiencia energética para aparatos de refrigeración de uso doméstico. Etiqueta", Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Argentina.
- [7].Carlos J. Verucchi, Cristian Ruschetti y Gustavo Kazlauskas, "Motores Eléctricos de Alta Eficiencia: Ventajas en Términos Económicos y Energéticos (High Efficiency Electric Motors: Economic and Energy Advantages)", Revista IEEE América Latina, Región 9, Dec. 2013, Volume 11, Issue 6, ISSN 1548-0992.
- [8].Norma IRAM 62405 (2012): "Etiquetado de eficiencia energética para motores de inducción trifásicos", Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Argentina
- [9].Informes de Compañía Administradora del Mercado mayorista Eléctrico (CAMMESA), <http://portalweb.cammesa.com>, Argentina.