

AHORRO DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA ZONA DE LA CULTURA DE LA UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

ENERGY SAVING AND ENERGY EFFICIENCY IN THE CULTURE ZONE, UNIVERSITY AUTONOMOUS JUAREZ OF TABASCO

López-Villarreal L. M.¹, Aguilar-Castro K.M.¹, Macías-Melo E.V.^{1*}, Hernández-Pérez I¹, López-Manrique L.M.¹, López-Villarreal S.¹

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Avenida Universidad s/n Zona de la Cultura, Colonia Magisterial CP 86690 Villahermosa Centro Tabasco México.

* edgar.macias@ujat.mx

RESUMEN

Un estudio para reducir la demanda eléctrica, ahorrar energía y mejorar la eficiencia energética en el total de edificios de la zona de la cultura de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) en 2009 fue desarrollado. Esta investigación está sustentada en la medición directa y temporal de la demanda eléctrica, del consumo de energía eléctrica y la verificación de eficiencias del equipamiento eléctrico existente. Se utilizó una metodología modificada propuesta por Producción más Limpia (P+L), reconocida y recomendada por organismos como la PNUD, CONUEE y FIDE. Se auditó la forma de consumir energía eléctrica en los equipamientos de los edificios de la UJAT. Los resultados de esta investigación demostraron beneficios energéticos, ambientales y económicos. Dentro de los resultados más relevantes se obtuvo **1)** Reducción ecológica en la emisión de gases que contribuyen al efecto invernadero de 1,526.01 Toneladas de CO₂-año⁻¹; **2)** Ahorro en energía eléctrica de 2,340,154.27 kWh-año⁻¹ con referencia a un consumo anual aproximado 4,182,917 kWh; y **3)** Reducción de la demanda eléctrica es de 367 kW con referencia a la demanda eléctrica de 1,348 kW durante 2008. Lo anterior, se logró implementando varias modificaciones recomendadas en el

equipamiento y operación de los equipos eléctricos. Los beneficios económicos se estimaron en \$4,993,960.64 que implica una inversión económica principalmente en equipamiento por \$4,571,354.74. El periodo de retorno simple de la inversión calculado resultó en 0.92 años. Este resultado está reforzado en un periodo mínimo de 5 a 7 años adicionales en el total de beneficios, esto debido a la vida útil del equipamiento que, además de los beneficios permanentes en eficiencia y ahorro referidos al cambio de tecnología, operación y costumbres de uso. El mejor uso y beneficios que serán mayores al reducirse la demanda de energía reflejada en menos kWh y menos Toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera.

Palabras claves: Demanda-consumo de energía, beneficios energéticos-ambientales-económicos, tarifa ponderada, precio medio.

ABSTRACT

A study to reduce electricity demand, save energy and improve energy efficiency in all buildings in the cultural zone of the Autonomous University Juarez of Tabasco (UJAT) in 2009 was developed. This research is based on the direct and temporary measurement of electricity demand, electricity consumption, and the verification of efficiencies of existing

electrical equipment. A modified methodology proposed by Production Cleaner (CP), recognized and recommended by organizations such as UNDP, CONUEE, and FIDE, was used. The way of consuming electrical energy in the equipment of the UJAT buildings was audited. The results of this research demonstrated energy, environmental and economic benefits. Among the most relevant results, 1) Ecological reduction in the emission of gases that contribute to the greenhouse effect of 1,526.01 Tons of CO₂-year-1; 2) Savings in electrical energy of 2,340,154.27 kWh-year-1 with reference to an approximate annual consumption of 4,182,917 kWh; and 3) Reduction in electricity demand is 367 kW with reference to the electricity demand of 1,348 kW during 2008. This was achieved by implementing several recommended modifications in the equipment and operation of electrical equipment. The economic benefits were estimated at \$ 4,993,960.64, implying a financial investment mainly in equipment for \$ 4,571,354.74. The simple return period of the investment calculated was 0.92 years. This result is reinforced in a minimum period of 5 to 7 additional years in the total benefits. This is due to the useful life of the equipment that, in addition to the permanent benefits in efficiency and savings, referred to the change of technology, operation, and usage habits. Best usage and benefits will be more significant as the energy demand is reduced, reflected in less kWh and fewer Tons of CO₂ emitted into the atmosphere.

Keywords: Demand-energy consumption, energy-environmental-economic benefits, weighted tariff, average price

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población y el calentamiento global en las últimas décadas han traído un crecimiento en la demanda de potencia y consumo eléctrico [1]. Las tarifas eléctricas se incrementan en modo proporcional a los incrementos de los precios e índice inflacionario en la mezcla de energías que se inyectan a la red eléctrica nacional. El incremento de temperatura global desde 1880 a 2015 fue reportado en 0.478 °C (1.4 °F) por Sivaramanan [2], utilizando registros y reportes de National Aeronautics and Space Administration, Goddard Institute for Space Studies (NASA GISS) [3], la Union Concerned Scientists USA (UCSUSA) [4] y trabajos previos de [5], [6], entre otros. En el ámbito regional, en específico en Tabasco, considerando los registros oficiales de las variables meteorológicas de los últimos 40 años se estimó un incremento de temperatura con un valor de 0.45 °C (1.31 °F), usando las normales actualizadas de la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2020) [7]. La metodología utilizada en este trabajo impacta directamente en cuatro vertientes, primero busca la mejora en la eficiencia de uso y ahorro de la energía, segundo provee recursos para financiar la modernización de los equipamientos, tercero provee recursos financieros para amortizar el consumo de la energía en el tiempo y cuarto contribuye a reducir emisiones de efecto invernadero a partir de su implementación. Las instalaciones de la UJAT en la zona de la cultura (ZC) en Villahermosa Tabasco están ubicados en, Latitud: 18° 00' 28" N, Longitud: 92° 55' 42" O, 15 m.s.n.m. La ZC comprende diferentes áreas tanto administrativas como aulas de docencia, deportivas entre otras. En dichas instalaciones se cuenta con varias subestaciones propias, para el suministro de energía eléctrica, con una sola medición

eléctrica (localizada al frente de la ZC junto al Teatro Universitario) para efectos de facturación de la energía eléctrica por parte de CFE. El consumo de energía de la ZC registró un aumento entre los años de 2006-2008 verificado en la facturación eléctrica. Lo anterior, debido a que se inauguró un nuevo edificio llamado CIVE (Centro Internacional de Vinculación Educativa) que incluyó en el sistema eléctrico de la ZC un equipo de aire acondicionado de alto consumo; además, de que la carga en el equipo eléctrico y de iluminación tienen una reducida regulación de carga térmica-eléctrica. Esto último ocasiona que se demande más energía eléctrica para enfriar casi todo el edificio, aunque algunas áreas no estén ocupadas, como se muestra en los consumos de energía de la Tabla 1. El análisis del consumo de energía eléctrica fue realizado por la empresa denominada “*LOPMAN-Technologies*”. Esto con la finalidad de contar con la experiencia, herramientas, personal externo y experiencia técnica para auditar instalaciones electromecánicas en plena operación con un mínimo o cero perturbaciones. Esta investigación fue desarrollada para aplicar en una ventana de tiempo de un año completo. Los trabajos fueron coordinados con la participación de administrativos de cada una de las áreas, especialmente la Secretaría administrativa, de la Dirección de construcción y la Dirección de servicios generales. Por lo que, en este estudio se presentan los resultados de análisis energético realizado en la ZC con el fin de reducir la demanda eléctrica, ahorrar energía y mejorar la eficiencia energética en el total de edificios de la ZC de la UJAT, considerando los datos de 2007-2009. En el análisis se considera la medición directa y temporal de la demanda eléctrica, del consumo de energía eléctrica y la verificación de eficiencias del equipamiento eléctrico existente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron equipos electrónicos digitales portátiles para la medición de las variables principales tales como: Voltaje (Volts), Corriente Eléctrica (Amp), Resistencia (Ohm), Impedancia (Ohm), Inductancia (Henry), Capacitancia (Farad), Factor de Potencia (FP%), Demanda de potencia (W), Consumo de Energía (Wh), Frecuencia (Hertz), Temperatura Interior y Exterior de edificios, Índice de Eficiencia (%), Factor de Uso (%). Igualmente se tomaron los datos de placa y ficha técnica de cada equipo, aparato máquina que demanda y consume energía eléctrica en la ZC. Fueron recopilados, procesados, analizados y verificados la facturación de CFE en un período de 21 meses como referencia base del estudio.

Instalaciones de la Zona de la Cultura.

La ZC está edificada en una superficie colindante con la “Laguna de las Ilusiones” que alberga una cantidad importante de infraestructura dedicada a las actividades académicas y a la administración de la educación superior de la UJAT. Esta cuenta con edificios modernos de construcción reciente, edificios remodelados y edificios de más de 40 años de existencia con especificaciones CAPECE en su mayoría. Cabe mencionar, que estos edificios cuentan con instalaciones eléctricas con mantenimiento regular aceptable, pero con equipamiento del control de la energía, demanda en baja tensión obsoleto, y con alimentación eléctrica proveniente de un solo ramal abastecido en media tensión por la CFE con una distribución eléctrica por transformadores de tipo radial para cada sector interno de esta zona. La intervención se realizó considerando el equipamiento o elementos de cargas pasivas directamente relacionadas con los usuarios. Lo anterior, sin intervenir o tratar de intervenir el control

desde centros de control de motores o centros de carga para hacer más viable la recuperación de la inversión. Se prevé en una fase posterior realizar modificaciones que caen en la categoría de domótica, considerando cargas cuyo uso permita automatización o requiera programación en baja tensión o cambios de tecnología para monitorización en media tensión.

La ZC-UJAT está dividida en las siguientes áreas: Una División Académica de Educación y Artes, Gimnasio, área deportiva, División Académica de Ciencias Económico Administrativas, Secretaría Académica, Secretaría Administrativa, Secretaría de Finanzas, Planeación, Rectoría, Biblioteca Central, Centro de Cómputo, Suministro y Control, Dirección de Investigación y Posgrado, Centro de Idiomas, Teatro Universitario, Centro Internacional de Vinculación y Enseñanza (CIVE), Radio UJAT y otras áreas dentro de la misma. Esta ZC también cuenta, con iluminación exterior de explanadas y calles interiores, canchas de fútbol, canchas de béisbol, entre otros; cada una de estas áreas conforman el complejo edificado universitario. Para el análisis energético se utilizó una metodología modificada propuesta por Producción más Limpia (P+L) y adaptada por las mejores experiencias prácticas de análisis de eficiencia eléctrica, introducida previamente por FIDE desde su fundación en 1990 en México, así como, prácticas reconocidas y recomendadas por organismos como la ONUDI [8], CONUEE, FIDE [9] y PNUD [10]. Esta metodología aplica a la industria y la adaptamos a infraestructura del sector educativo, pero atendiendo puntualmente las principales recomendaciones de los organismos antes mencionados. Específicamente esto fue acotado a la eficiencia eléctrica, tal como fue adoptado en 2008 en P+L. En el presente trabajo se aplicó para garantizar las indicaciones

marcadas en el objetivo Número 7 denominado: Energía Asequible y No Contaminante, que debe ser segura, sostenible y moderna para todos, como se plantea en la PNUD [10]. La principal diferencia o modificación entre el concepto de P+L y lo que se aplicó en el presente estudio consiste en que el objetivo 7 es sustituido por una energía asequible y no contaminante (considerando la que se esté empleando en el proceso). Bajo el enfoque del presente estudio se propuso como primer objetivo intercambiar consumo por ahorro o reducción de consumo. Esto es porque la energía que no se tiene que generar para después mejorar su eficiencia, es más valiosa, asequible, segura y no contaminante; y además, permite reducir los contaminantes por haber hecho una conversión energética. Por lo que, en el presente trabajo como primer objetivo se busca reducir los consumos innecesarios o modificar los usos y costumbres de uso de la energía. Como alternativa se busca sustituir el equipamiento por otro más eficiente. A diferencia de otros estudios, dejamos la sustitución de fuente energética como último recurso bajo la premisa de que ese proceso de sustitución energética y eficiencia de generación se realiza a nivel federal. En una segunda fase de este estudio se buscará sustituir por energía solar para inyectarse al sistema.

Historial de consumo. El incremento en la demanda eléctrica por la instalación y operación de unidades de aire acondicionado del CIVE, Biblioteca Central y el Teatro Universitario rebasó la carga contratada con la Comisión Federal de electricidad. La Demanda máxima intermedia y punta fue rebasada como se muestra con detalle en la **Tabla 1**. El rebase de carga contratada fue la causa de la auditoría de las instalaciones eléctricas de la ZC-UJAT.

Tabla 1. Histórico en Demanda y Consumo de Energía Eléctrica de la Zona de la Cultura UJAT 2007-2008, Cortesía de Lopman Technologies.

ID		Periodo de Consumo		Carga Conectada KW	Demanda Contratada KW	Consumo de Energía kWh				Demanda Maxima Kw				Pot React Induct KVarh	Dem Kw	Precios Unitarios \$				VARIACION ACUMULADA DE PRECIOS UNITARIOS			
Desde	Hasta	Base kWh	Interm kWh			Punta kWh	Total kWh	Base KW	Interm KW	Punta KW	Total	Energía en Base kWh	Energía en Intermedia kWh			Energía en Punta kWh	Demanda Facturable	Energía base (%)	Energía Intermedia (%)	Energía Punta (%)	Demanda facturable		
1	31/12/06	31/01/07	1,219	1,184	30,938	121,113	35,473	187,524	350	746	806	1,902	97,256	806	0.6117	0.7357	2.3565	127.340	0	0	0	0	
2	31/01/07	28/02/07	1,219	1,184	32,923	167,062	46,497	246,482	513	1,033	1,147	2,693	116,391	1,147	0.5908	0.7105	2.2759	122.980	-3.417	-3.425	-3.420	-3.424	
3	31/03/07	30/04/07	1,219	1,184	36,871	200,646	17,675	255,192	470	1,258	1,145	2,873	121,969	1,179	0.5902	0.7098	2.2736	122.850	-3.515	-3.520	-3.518	-3.526	
4	30/04/07	31/05/07	1,219	1,184	43,126	325,417	27,029	395,572	512	1,348	1,224	3,084	165,190	1,262	0.5958	0.7165	2.2952	124.020	-2.599	-2.610	-2.601	-2.607	
5	31/05/07	30/06/07	1,219	1,184	39,673	320,616	24,486	384,775	412	1,348	1,029	2,789	161,844	1,125	0.6060	0.7288	2.3347	126.150	-0.932	-0.938	-0.925	-0.935	
6	30/06/07	31/07/07	1,219	1,184	36,812	216,532	16,890	270,234	319	1,327	1,019	2,665	121,680	1,112	0.6224	0.7486	2.3980	129.570	1.749	1.753	1.761	1.751	
7	31/07/07	31/08/07	1,348	1,348	42,059	315,053	26,221	383,333	649	1,245	1,133	3,027	153,734	1,167	0.6373	0.7665	2.4553	132.670	4.185	4.186	4.193	4.186	
8	31/08/07	20/09/07	1,348	1,348	44,956	318,317	25,302	388,575	634	1,420	1,157	3,211	163,496	1,236	0.6478	0.7791	2.4958	134.860	5.902	5.899	5.911	5.905	
9	30/10/07	30/11/07	1,348	1,348	51,216	183,063	42,769	277,048	529	1,141	1,034	2,704	161,169	1,067	0.6587	0.7921	2.5376	137.120	7.684	7.666	7.685	7.680	
10	31/12/07	31/01/08	1,348	1,348	48,105	170,458	45,483	264,046	393	950	881	2,224	161,742	876	0.7202	0.8660	1.8659	139.040	17.737	17.711	-20.819	9.188	
11	31/01/08	29/02/08	1,348	1,348	49,364	226,804	59,648	335,816	597	1,306	1,272	3,175	163,882	1,239	0.7523	0.9046	1.9053	139.190	22.985	22.958	-19.147	9.306	
12	29/02/08	31/03/08	1,348	1,348	42,025	141,243	34,426	217,694	532	1,176	1,242	2,950	117,332	1,221	0.7934	0.9540	1.5712	140.650	29.704	29.672	-33.325	10.452	
13	31/03/08	30/04/08	1,348	1,348	47,449	344,845	37,424	429,718	708	1,406	1,254	3,368	169,294	1,262	0.8464	1.0177	1.6333	142.552	38.368	38.331	-30.690	11.946	
14	30/04/08	31/05/08	1,348	1,348	51,997	361,953	26,470	440,420	811	1,771	1,389	3,971	184,071	1,447	0.8779	1.0556	1.6763	145.360	43.518	43.482	-28.865	14.151	
15	31/05/08	30/06/08	1,348	1,348	43,847	262,506	18,306	324,659	409	1,328	884	2,621	143,761	1,018	0.9260	1.1134	1.7316	147.470	51.381	51.339	-26.518	15.808	
16	30/06/08	31/07/08	1,348	1,348	38,689	214,950	15,878	269,517	415	1,223	994	2,632	125,261	1,063	0.9661	1.1616	1.7799	149.670	57.937	57.890	-24.468	17.536	
17	31/07/08	31/08/08	1,348	1,348	53,471	375,107	27,028	455,606	919	1,742	1,534	4,195	187,982	1,457	1.0273	1.2351	1.8427	151.380	67.942	67.881	-21.804	18.879	
18	31/08/08	30/09/08	1,348	1,348	52,134	333,875	22,349	408,358	634	1,497	1,151	3,282	166,181	1,255	1.0728	1.2898	1.8956	153.700	75.380	75.316	-19.559	20.700	
19	30/09/08	31/10/08	1,348	1,348	50,971	289,371	31,118	371,460	487	1,212	1,089	2,788	165,487	1,126	1.0806	1.2992	1.9032	159.624	76.655	76.594	-19.236	25.353	
PROMEDIOS			1,307	1,296	44,033	257,312	30,551	331,896	542	1,288	1,125	2,955	149,880	1,161	0.77	0.93	2.06	138.22	25.82	25.80	-12.39	8.54	
TOTALES					836,626	4,888,931	580,472	6,306,029	10,293	24,477	21,384			22,065	1.0806	1.2992	2.5376	159.62	76.66	76.59	7.69	25.35	

El rebase de la demanda eléctrica contratada implica modificaciones en la subestación eléctrica y de su acometida. Se tomaron cuatro conceptos o sistemas de consumos para concretar cuatro subproyectos principales: Iluminación, Equipo de Cómputo, Equipamiento Eléctrico y Aire Acondicionado. Estos cuatro conceptos se seleccionaron porque es la forma natural de clasificar y estructurar la carga eléctrica o uso de esta dentro de casi cualquier tipo de instalación en función de la demanda. Esto se hace para cada una de las áreas mencionadas anteriormente, para separarlas para su identificación energética dentro del estudio.

Cargo por demanda facturable. El Cargo por Demanda Facturable lo realiza CFE

mediante la medición de los picos de Demanda Facturable (DF) sostenidos en una ventana de tiempo de 15 minutos, actualizados o rolados cada 5 minutos. De esta forma se va guardando el valor máximo promedio de esta demanda en cada tarifa horaria, para que una vez determinado el valor máximo de los promedios de cada ventana temporal de 15 minutos, solo se mantiene en la memoria del medidor digital el valor máximo de los promedios obtenidos desde cada uno de los horarios tarifarios, con estos valores se calcula la DF mensualmente en cada facturación de acuerdo con la Ec. 1.

$$DF = DP + FRI \bullet \max(DI - DP, 0) + FRB \bullet \max(DB - DPI, 0) \quad \text{Ec. 1}$$

Donde: DP es la demanda punta en kW, FRI es el factor de reducción intermedio adimensional y depende de la región tarifaria y tipo de tarifa (HS, HM, HSL, HT o HTL); DI es la demanda máxima en periodos de tarifa intermedia en kW, FRB es el factor de reducción en periodo de tarifa base adimensional y depende de la región tarifaria y tipo de tarifa (HS, HM, HSL, HT y HTL, a partir de 2019 es llamada GDMTH), DB es la demanda en periodos de tarifa base y DPI es la demanda en periodo de tarifa punta o periodo de tarifa intermedia [11].

Los factores incluidos en la Ec. 1 son publicados mensualmente por la CFE para cada una de las regiones de la República Mexicana y se seleccionan según su región tarifaria. Los valores FRI y FRB que se han mantenido más o menos constante en el tiempo, ver **Tabla 2**.

Tabla 2. Factores para calcular la Demanda Facturable en Tarifa H-M.

REGIÓN TARIFARIA	FRI	FRB
SUR	0.3	0.15

El cálculo de la DF consiste en multiplicar este valor versus la tarifa por Demanda que es publicada por CFE cada mes y así obtener el Cargo por Demanda Facturable, el cual es parte del Precio Medio (PM) de la energía eléctrica.

Tarifa ponderada por kWh. La Tarifa Ponderada (TP) de acuerdo con la tarifa Horaria en Media Tensión (HM) contratada. La TP está relacionada con la costumbre y forma en la que el usuario (comunidad académica en este caso) usa la energía eléctrica. Esta tarifa varía de acuerdo con los horarios de trabajo en el que cada usuario acostumbra a utilizar la energía, y sirve como referencia para determinar cuál es el “precio real” debido a la operación o

al ahorro real en caso de que se logren mejoras en el sistema eléctrico del usuario (manejo de la carga en la UJAT) o se cambie de actitud respecto al uso de la energía demandada desde la red de CFE. El precio objetivo debe ser el precio mínimo alcanzable, esta reducción de precios como consecuencia de los cambios que deberán recomendarse desde los proyectos.

Se espera que, al comparar los importes de facturación por la demanda en kW, los kWh consumidos sean menores respecto al tiempo versus los calculados. La disminución es considerando las mejores prácticas de operación y la utilización de equipos. Estos al ser más eficientes deberán ser menores los cargos respecto a los históricos de demanda y consumo de energía eléctrica en la ZC de la UJAT entre 2007-2008 mostrados en la Tabla 1.

Al aplicar la metodología a las instalaciones de la UJAT en lo particular, esta tiene una tarifa cuyo precio varía de acuerdo con la forma de uso de la energía. El PM de la Energía incluye implícitamente la forma en que se demanda la potencia y energía eléctrica desde la red eléctrica de CFE, como se mostró en la Tabla 1. En la tabla antes mencionada, se muestran los detalles de demanda y consumo, tal como aparecen en los recibos como indicador global del costo de la energía eléctrica para cada usuario en particular. Por lo que, no es posible encontrar dos usuarios que tengan exactamente el mismo PM por cada KWH (solo por Coincidencia). La TP es una tarifa representativa proporcional de las tres tarifas aplicadas (Base, Intermedia y Punta), para tener un valor referencial y que aplica CFE exclusivamente en la facturación para determinar el cargo por consumo de energía o TP, la CFE aplica una ecuación que permite conocer el patrón de consumo energía eléctrica del

usuario, esta ecuación toma la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 TP_{UJAT} = & T_{base} \left(\frac{Consumo_{base}}{Consumo_{Total}} \right) + \\
 & T_{Intermedia} \left(\frac{Consumo_{in\ intermedio}}{Consumo_{Total}} \right) + \\
 & T_{Punta} \left(\frac{Consumo_{Punta}}{Consumo_{Total}} \right)
 \end{aligned}
 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde: TP_{UJAT} es la Tarifa Ponderada exclusivamente para la UJAT; T_{base} es la Tarifa Base en los periodos de tiempo base para el servicio HM; $T_{Intermedia}$ es la Tarifa Intermedia en los periodos de tiempo para el servicio HM y T_{Punta} es la Tarifa Punta en los periodos punta para el servicio HM.

Utilizando la Ec. 2 y los registros históricos de demanda y consumo de energía de la UJAT en el periodo 2007-2008 (ver Tabla 2) se obtuvieron los precios ponderados por cada kWh durante este periodo y se pueden revisar en la **Figura 1**.

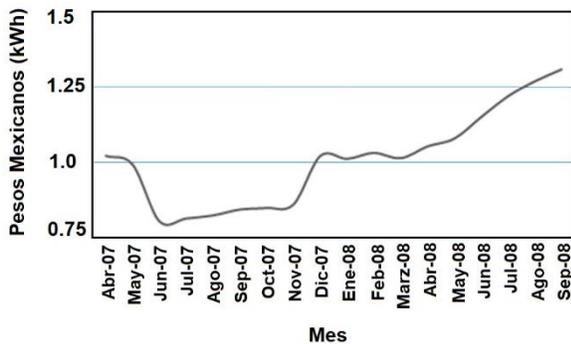


Figura 1. Comportamiento de la Tarifa Ponderada sin IVA aplicada a la Zona de la Cultura UJAT de Abr-07/Oct-08, cortesía de Lopman Technologies.

Para aplicar la Ec. 2 se utilizan los datos históricos de la facturación de la zona de la cultura de la UJAT que muestra listados de consumos en las columnas 6, 7 y 8, contando de izquierda a derecha de la

Tabla 1, así como los precios tarifarios están listados en las columnas 16, 17 y 18 de la Tabla 1, donde se obtuvo el gráfico correspondiente a la TP_{UJAT} que da una idea de la variación en la forma y costumbre de consumir la energía eléctrica en la UJAT en los últimos 21 meses correspondientes al periodo indicado. La **Figura 1** muestra una gráfica para comprobar el cargo de TP_{UJAT} por consumo que la CFE ha hecho. En promedio en el penúltimo renglón de la Tabla 2 se indican los promedios de precios de tarifa por tiempos base, intermedio y punta de los últimos 21 meses del periodo indicado. La información fue tomada de las facturas que CFE emitió, resultaron los precios tarifarios específicos para la UJAT mostrados en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Precios unitarios promedios por kWh por tiempos.

TARIFAS	PROMEDIO	MAXIMO	UNIDADES
T _{BASE}	0.77	1.0806	Pesos-kWh ⁻¹
T _{INTERMEDIO}	0.93	1.2992	Pesos-kWh ⁻¹
T _{PUNTA}	2.06	2.5376	Pesos-kWh ⁻¹

Con los precios descritos en las Tablas 1, 2 y 3 verifican el costo real del precio del kWh durante el periodo de análisis de 21 meses. Tomando en cuenta la variación de los precios que se registraron hasta el mes de octubre de 2008, la TP_{UJAT} calculada resultó en los valores que se muestran en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Tarifa Ponderada obtenida utilizando la Ec. 2 sin considerar cargos adicionales.

TARIFA PONDERADA	PRECIO	UNIDAD
T (SIN: IVA, CARGOS POR. DEMANDA, BAJO FP)	1.3198	\$P-kWh ⁻¹
T (INCLUYE IVA, SIN CARGO POR DEMANDA FACT.)	1.5178	\$P-kWh ⁻¹
T (ULTIMO SEM., INC. IVA, SIN CARGO POR DF)	1.8214	\$P-kWh ⁻¹

Sin embargo, al revisar el comportamiento de variación neta de esta TP en los últimos 6 meses se pagó un precio estimado de \$1.8214 pesos-kWh⁻¹ (IVA incluido, sin

considerar los cargos por Demanda, bajo FP entre otros). Por lo tanto, es el precio que se tomará como medida precautoria para los análisis de ahorro y eficiencia energética, debido a que se está considerando el tiempo que lleva poner en marcha un proyecto de esta naturaleza incluyendo trámites y demás movimientos financieros.

Precio medio por kWh. El PM lo calcula CFE dividiendo el total de la factura sin IVA entre el total de kWh consumidos en el periodo que se factura. La variación del PM es un indicador de la forma de manejo y consumo de la energía, debido a que incluye todos los cargos adicionales, por ejemplo: el cargo por bajo factor de potencia, cargo por demanda, cargo por consumo de energía en hora determinada, etc. Lo anterior con el fin es tener un indicador de cuanto le cuesta al usuario cada kWh que se mide y consume.

$$PM = \frac{\text{Sub Total (Pesos)}}{\text{Consumo Total (kWh)}} \quad \text{Ec. 2}$$

Así por ejemplo el **PM** para el mes de octubre 2008 en la ZC-UJAT de acuerdo a la Tabla 1 resulta mediante la aplicación de la Ec. 3 en un **PM** = \$667,582.56 Pesos / 371,460 kWh. En la **Tabla 5** se muestra la aplicación de la Ec. 3.

Tabla 5. Precio Medio de la energía eléctrica específica para la UJAT.

TARIFA _{UJAT}	PM	UNIDADES
T _{UJAT} (SIN IVA, INCLUYE CARGOS ADICIONALES)	1.7972	Pesos-kWh ¹
T _{UJAT} (INCLUYE IVA, INCLUYE CARGOS ADICIONALES)	2.0668	Pesos-kWh ¹

Una vez que se ha calculado cada una de las tarifas y precios, así como las tasas de variación de la tarifa, podemos proyectar a 6 meses en lo que se aplican las recomendaciones del proyecto de ahorro

de energía, los precios que estarán vigentes para esa fecha y con ellos estimaremos los ahorros y beneficios que se podrían lograr.

Así tomando en cuenta el histórico de la variación para la Demanda facturable se estimó un incremento de 6.87 % en 6 meses tomado como base el que se publicó para diciembre de 2008, a la Tarifa Ponderada se le estimó una variación del 15% dado que en un año varió un 30% aproximadamente. De la misma forma, se aplicó esta estrategia para el precio medio de la energía (Esto solo aplica a la UJAT si no hay cambios en la infraestructura y costumbre de utilizar la energía eléctrica).

En la **Tabla 6**, se enlista el concentrado de la auditoría, medición, análisis y propuesta de cambios tecnológicos en la **Iluminación** para el total de áreas de la ZC. Los beneficios energéticos anuales en mejora de eficiencia y ahorro son por 417,881.87 kWh-año⁻¹. Esto trae aparejados beneficios ambientales al disminuir las emisiones por consumo en 272.50 Ton de CO₂. Adicionalmente, permite obtener beneficios económicos globales por 913,807.20 pesos-año⁻¹. El factor de emisión marginal de CO₂ (promedio ponderado en México) utilizado para su conversión fue de 6.521 x 10⁻⁴ Ton métricas de CO₂/kWh para la mezcla de energéticos inyectados a la red nacional. Este valor de CO₂ fue menor que el factor 7.09 x 10⁻⁴ Ton métricas de CO₂/kWh, que es la tasa de emisión marginal de CO₂ promedio ponderada de los EE. UU de AVERT del año 2019. La diferencia entre estos valores se atribuye a que en México el uso de carbón para genera energía es mínimo comparado a EE. UU. Esto permite establecer un Período Simple de Retorno de la Inversión (PSRI).

Tabla 6. Concentrado de los ahorros/inversiones por concepto de **iluminación** en la zona de la cultura de la UJAT, cortesía de Lopman Technologies.

ID	AREA	Beneficios Energéticos y Ambientales			Beneficios Económicos			Inversión y PSRI	
		Ahorro en Demanda (kWhaño ⁻¹)	Ahorro en Consumo (kWhaño ⁻¹)	Disminución de Emisiones	Por demanda (\$-año ⁻¹)	Por Consumo (\$-año ⁻¹)	Total (\$-año ⁻¹)	Inversión (\$)	PSRI (\$)
1	DAEA	18.18	118,068.80	76.99	42,400.45	215,046.97	257,447.42	540,503.22	22.20
2	Gimnasio y Áreas Deportivas	3.69	14,244.52	9.29	8,615.36	25,946.54	33,744.59	41,727.06	1.24
3	DACEA	14.88	83,998.88	54.78	34,708.66	152,993.04	187,701.70	450,170.72	22.32
4	Secretaría de Servicios Académicos	1.96	11,399.04	7.43	4,578.22	32,132.46	36,344.50	74,711.36	5.87
5	Secretaría Administrativa	2.82	12,586.72	8.21	6,567.64	22,925.07	29,492.71	51,706.76	11.42
6	Planeación	0.00	2,882.88	1.88	0.00	5,250.79	5,250.79	1,265.00	0.24
7	Rectoría	0.29	1,038.72	0.68	667.03	1,893.89	2,560.92	10,841.74	4.23
8	Biblioteca Central	9.57	25,840.32	16.85	22,329.04	47,064.78	69,397.82	257,715.00	3.71
9	Centro de Computo	4.31	26,110.56	17.03	10,047.37	47,556.99	57,604.36	114,798.52	1.99
10	Suministro y Control	1.85	4,455.84	2.91	4,324.01	8,115.73	12,439.74	35,882.07	2.88
11	Dirección de Investigación y Posgrado	0.53	6,113.76	3.99	1,231.43	11,135.42	7,138.42	20,015.52	2.80
12	Centro de Idiomas	7.92	38,747.52	25.27	18,480.81	70,573.57	89,055.38	165,212.22	3.79
13	Teatro Universitario	0.06	1,680.95	1.10	149.26	3,061.63	3,210.90	6,858.65	2.14
14	CIVE	1.52	23,354.88	15.23	3,545.03	42,537.88	20,828.36	63,382.48	3.04
15	Centro de Comunicación y Mercadotecnia	1.28	8,150.40	5.31	2,975.96	14,844.89	17,820.86	50,900.84	2.86
16	Secretaría de Finanzas	0.00	3,850.56	2.51	0.00	7,013.29	7,013.29	2,530.00	0.36
17	Otros del Área Central	5.30	35,357.52	23.06	12,358.30	64,399.13	76,755.43	103,098.74	7.10
TOTALES		74.17	417,881.87	272.50	172,976.58	772,492.09	913,807.20	1,991,319.90	2.18

Estos resultados muestran que se puede recuperar una inversión de modernización del equipamiento en iluminación por \$ 1,991,319.90 pesos. Estos invertidos globalmente en el concepto de iluminación resulta en un PSRI= 2.18 años.

La **Tabla 7**, muestra un concentrado de la auditoría, medición, análisis y propuesta de

cambios tecnológicos en el **Equipo de Cómputo** para el total de áreas de la ZC. Los beneficios energéticos anuales en mejora de eficiencia y ahorro por 141,619.80 kWh-año⁻¹. Esto trae beneficios ambientales al disminuir las emisiones por consumo en 92.35 Ton de CO₂. Adicionalmente, permite obtener beneficios

económicos globales por \$ 317,734.89 pesos-año⁻¹ con un PSRI.

Estos resultados muestran que se puede recuperar una inversión de modernización

del equipamiento en iluminación por \$ 1,076,871.00 pesos. Estos son invertidos globalmente en el concepto de iluminación resultó en un PSRI= 3.39 años.

Tabla 7. Concentrado de los Ahorros/Inversión por concepto de **Equipo de Cómputo**, zona de la cultura, cortesía de Lopman Technologies.

ID	AREA	Beneficios Energéticos y Ambientales			Beneficios Económicos			Inversión y PSRI	
		Ahorro en Demanda (kW/año ⁻¹)	Ahorro en Consumo (kW/año ⁻¹)	Disminución de Emisiones (Ton CO ₂ -año ⁻¹)	Por demanda (\$-año ⁻¹)	Por Consumo (\$-año ⁻¹)	Total (\$-año ⁻¹)	Inversión (\$)	PSRI (\$)
1	DAEA	2.59	14,327.86	9.34	6,030.10	26,096.33	32,126.43	115,210.00	22.68
2	Gimnasio y Áreas Deportivas	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	DACEA	1.60	9,116.54	5.94	3,722.28	16,604.59	20,326.87	75,601.00	22.52
4	Secretaría de Servicios Académicos	2.56	14,515.84	9.47	5,959.86	26,438.58	32,398.58	79,800.00	9.14
5	Secretaría Administrativa	0.91	6,596.25	4.30	2,129.68	12,015.21	14,144.89	42,005.00	9.68
6	Planeación	0.19	2,057.84	1.34	446.67	3,748.10	4,194.77	8,400.00	2.00
7	Rectoría	0.00	469.27	0.31	0.00	854.72	854.72	0.00	0.00
8	Biblioteca Central	0.90	5,309.34	3.46	2,088.02	9,670.27	11,758.30	39,900.00	3.39
9	Centro de Cómputo	12.83	64,997.05	42.38	29,927.16	118,383.68	148,310.84	552,300.00	3.72
10	Suministro y Control	0.20	1,040.44	0.68	469.72	1,895.02	2,364.73	8,400.00	3.55
11	Dirección de Investigación y Posgrado	0.29	2,523.64	1.65	670.01	4,596.48	5,266.49	12,600.00	2.39
12	Centro de Idiomas	0.69	3,541.39	2.31	1,611.22	6,450.18	8,061.40	33,600.00	8.34
13	Teatro Universitario	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
14	CIVE	0.00	258.22	0.17	0.00	470.32	470.32	0.00	0.00
15	Centro de Comunicación y Mercadotecnia	1.35	6,462.05	4.21	3,154.64	11,769.78	14,924.42	41,855.00	2.80
16	Secretaría de Finanzas	1.01	7,010.86	4.57	2,363.65	12,769.36	15,133.01	44,100.00	2.91
17	Otros del Área Central	0.52	3,393.21	2.21	1,218.83	6,180.30	7,399.12	23,100.00	13.48
TOTALES		25.64	141,619.80	92.35	59,791.84	257,943.05	317,734.89	1,076,871.00	3.39

En la **Tabla 8**, se enlista el concentrado de la auditoría, medición, análisis y propuesta de cambios tecnológicos en el **equipamiento eléctrico** para el total de áreas de la ZC. Los beneficios energéticos anuales en mejora de eficiencia y ahorro por 149,549.52 kWh-año⁻¹. Esto trae aparejados beneficios ambientales al disminuir las emisiones por consumo en

97.52 Ton de CO₂. Lo que permite obtener beneficios económicos por \$ 262,186.61 pesos-año⁻¹. Esto incluye PSRI con resultados que muestran la posibilidad de lograr beneficios ambientales y económicos sin necesidad de inversión en el Equipamiento, por lo que no se calcula un PSRI para este concepto.

Tabla 8. Concentrado de los Ahorros/Inversión por concepto de **Equipamiento**, zona de la cultura UJAT, cortesía de Lopman Technologies.

ID	AREA	Beneficios Energéticos y Ambientales			Beneficios Económicos			Inversión y PSRI	
		Ahorro en Demanda (kWhaño ⁻¹)	Ahorro en Consumo kWhaño ⁻¹)	Disminución de Emisiones (Ton CO ₂ -año ⁻¹)	Por demanda (\$-año ⁻¹)	Por Consumo (\$-año ⁻¹)	Total (\$-año ⁻¹)	Inversión (\$)	PSRI (\$)
1	DAEA	0.00	29,806.62	19.44	0.00	54,099.84	53302.89	0.00	0.00
2	Gimnasio y Áreas Deportivas	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	DACEA	0.00	17,796.94	11.61	0.00	31,674.30	31,147.69	0.00	0.00
4	Secretaría de Servicios Académicos	0.00	19,899.13	12.98	0.00	36,249.67	36,249.67	0.00	0.00
5	Secretaría Administrativa	0.00	7,290.19	4.75	0.00	13,290.14	13,290.14	0.00	0.00
6	Planeación	0.00	4,852.27	3.16	0.00	8,837.78	8,837.78	0.00	0.00
7	Rectoría	0.00	2,925.98	1.91	0.00	5,329.30	5,329.30	0.00	0.00
8	Biblioteca Central	0.90	3,025.98	1.97	0.00	5,605.26	5,605.26	0.00	0.00
9	Centro de Computo	0.00	10,215.55	6.66	0.00	9,501.62	9,501.62	0.00	0.00
10	Suministro y Control	0.00	2,754.80	1.80	0.00	5,020.51	5,021.51	0.00	0.00
11	Dirección de Investigación y Posgrado	0.00	3,891.29	2.54	0.00	7,093.47	7,093.47	0.00	0.00
12	Centro de Idiomas	0.00	4,636.85	3.02	0.00	8,446.42	8,446.42	0.00	0.00
13	Teatro Universitario	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
14	CIVE	0.00	165.83	0.11	0.00	333.13	333.13	0.00	0.00
15	Centro de Comunicación y Mercadotecnia	0.00	27,121.85	17.69	0.00	49,398.93	49,398.93	0.00	0.00
16	Secretaría de Finanzas	0.00	4,557.70	2.97	0.00	8,304.26	8,304.26	0.00	0.00
17	Otros del Área Central	0.00	10,608.85	6.92	0.00	19,324.64	19,324.64	0.00	0.00
TOTALES		0.00	149,549.52	97.52	0.00	262,509.26	262,186.71	0.00	0.00

La **Tabla 9** muestra un concentrado de la auditoría, medición, análisis y propuesta de

cambios tecnológicos en el **Aire Acondicionado** para el total de áreas de la

ZC. Los beneficios energéticos anuales en mejora de eficiencia y ahorro por 1,631,103.09 kWh-año⁻¹. Esto trae aparejados beneficios ambientales al disminuir las emisiones por consumo en 1,063.64 Ton de CO₂. El cálculo de los beneficios económicos es por \$ 3,500,231.85 pesos-año⁻¹. Estos permiten

obtener PSRI accesible, con resultados que muestran que se puede recuperar una inversión de modernización del equipamiento en iluminación por \$ 1,503,160.83 pesos. Cantidad que invertida de forma global en el concepto de iluminación resultó en un PSRI= 0.43 años.

Tabla 9. Concentrado de los Ahorros/Inversión por concepto de **Aire Acondicionado**, zona de la cultura, UJAT, cortesía de Lopman Technologies.

ID	AREA	Beneficios Energéticos y Ambientales			Beneficios Económicos			Inversión y PSRI	
		Ahorro en Demanda (kWhaño ⁻¹)	Ahorro en Consumo (kWhaño ⁻¹)	Disminución de Emisiones (Ton CO ₂ -año ⁻¹) ¹	Por demanda (\$-año ⁻¹)	Por Consumo (\$-año ⁻¹)	Total (\$-año ⁻¹)	Inversión (\$)	PSRI (\$)
1	DAEA	79.55	494859.41	322.70	185528.97	901322.09	1,086,851.05	214,355.05	1.52
2	Gimnasio y Áreas Deportivas	1.15	6,119.94	3.99	2,680.93	11,146.67	13,827.60	3,220.00	0.23
3	DACEA	26.45	163,502.49	106.62	61,697.96	297,798.53	359,496.49	213,791.78	3.58
4	Secretaría de Servicios Académicos	14.05	74,803.09	48.78	32,768.61	136,244.11	169,012.72	113,846.45	2.84
5	Secretaría Administrativa	7.30	34,549.57	22.53	17,021.75	62,927.54	79,949.29	39,587.75	3.57
6	Planeación	2.59	13,807.79	9.00	6,048.71	25,149.10	31,197.81	7,647.50	0.25
7	Rectoría	5.26	27,999.60	18.26	12,265.64	50,997.63	63,263.28	13,939.92	0.22
8	Biblioteca Central	44.83	334,136.24	217.89	104,552.4 ₂	608,585.73	713,138.15	104,549.38	0.15
9	Centro de Computo	21.81	116,139.73	75.73	50,876.75	211,533.42	262,410.17	341,793.26	1.30
10	Suministro y Control	2.38	10,155.94	6.62	5,561.20	18,497.73	24,058.93	8,452.50	0.35
11	Dirección de Investigación y Posgrado	2.42	12,897.39	8.41	5,649.89	23,490.92	29,140.81	5,869.79	0.20
12	Centro de Idiomas	3.99	18,270.64	11.91	9,299.88	33,277.59	42,577.47	64,191.75	3.54
13	Teatro Universitario	18.73	63,942.73	41.70	43679.23	116,463.37	160,142.60	71,645.00	0.45
14	CIVE	3.87	20,607.50	13.44	9,027.42	37,533.88	46,561.31	34,572.29	0.74
15	Centro de Comunicación y Mercadotecnia	9.67	51,463.12.	33.56	22,544.19	93,733.37	116,267.56	26,565.00	0.23
16	Secretaría de Finanzas	9.10	58,159.64	37.93	21,231.42	105,930.23	127,161.65	23,747.50	0.19
17	Otros del Área Central	14.53	129,688.26	84.57	33,889.98	141,274.97	175,164.95	215,385.27	7.53
TOTALES		267.69	1,631,103.09	1,063.64	624,324.96	2,875,906.89	3,500,231.85	1,503,160.83	0.43

En la **Tabla 10**, se presenta el concentrado o resumen de los resultados de la auditoría global y de los resultados obtenidos a través mediante, medición, y análisis costumbres de uso de la energía eléctrica. También, se incluyen propuestas de cambios tecnológicos y de operación para reducir la demanda de potencia eléctrica, reducir las emisiones de contaminantes en CO₂, mejorar la eficiencia energética y el correspondiente ahorro de energía de cada uno de los equipamientos de cada una de las áreas de la ZC-UJAT. Esta tabla permite al analista identificar la información necesaria para implementar los proyectos pertinentes para conseguir los beneficios energéticos, ambientales y económicos que autofinanciarán dichos proyectos y que se recuperan rápidamente haciéndolos técnica y financieramente factibles.

Los beneficios energéticos y ambientales en forma global son mayores en el rubro de aire acondicionado. Esto por ser el que presenta mayor descuido y irracionalidad en la operación de acuerdo con las evidencias encontradas durante las mediciones y análisis de registros del presente estudio. Razón por lo que en este caso debe ponerse especial atención a este rubro dado que la implementación de este proyecto hace viable el resto de los proyectos como el de iluminación y equipo de cómputo que rebasan el año del PSRI. Con los beneficios económicos de solo el proyecto de aire acondicionado es posible invertir es esos dos proyectos y aun así se logra obtener un rango de $0.92 < \text{PSRI} < 1$ año.

Tabla 10. Resumen de Resultados de Análisis del Equipamiento Electromecánico de la ZC_UJAT.

ID	ÁREA	Beneficios Energéticos y Ambientales			Beneficios Económicos			Inversión y PSRI	
		Ahorro en demanda (kWh/año ⁻¹)	Ahorro en Consumo (kWh/año ⁻¹)	Disminución de Emisiones (Ton CO ₂ -año ⁻¹)	Por demanda (\$-año ⁻¹)	Por Consumo (\$-año ⁻¹)	Total (\$-año ⁻¹)	Inversión (\$)	PSRI (\$)
1	Iluminación	74.17	417,881.87	272.50	172,976.58	772,492.09	913,807.20	1,991,319.90	2.18
2	Equipo de Computo	25.84	141,619.80	92.35	59,791.84	257,943.05	317,734.89	1,076,871.00	3.39
3	Equipamiento	0.00	149,549.52	97.52	0.00	262,509.26	262,186.71	3.00	0.00
4	Aire acondicionado	267.69	1,631,103.09	1,063.64	624,324.96	2,875,906.89	3,400,231.85	1,503,160.83	0.43
TOTALES		367.50	2,340,154.27	1526.01	857,093.38	4,168,851.29	4,993,960.64	4,571,354.74	0.92

Inventario de equipamiento. Se realizó un inventario y medición de los parámetros eléctricos de consumo y demanda de energía de los equipos eléctricos en funcionamiento de cada área mencionada anteriormente. Considerando lo anterior se auditó el consumo eléctrico por Secretaría, División, Dirección, Sector u Área.

Disponibilidad lumínica. Fue realizado un estudio luxométrico en forma selectiva de las áreas para determinar las condiciones visual-operativas de los espacios tanto académicos como administrativos. Se encontró déficit lumínico en varias áreas académicas, debido a que en su mayoría a la corta vida útil que les quedan a las luminarias que normalmente son de tipo T-12. Mientras que sucede lo contrario en

muchas de las oficinas remodeladas que cuentan con luminarias tipo T-8 y hasta tipo T5.

Confort bioclimático. Por la parte de bio-confort higro-térmico sensible y latente dentro de los espacios que cuentan actualmente con equipos para este propósito, se encontró que el 95% de los acondicionadores de aire, ya sea de tipo central, ventana o mini-split, son ajustados consistentemente a la temperatura mínima disponible (16-18°C). Esto en sus respectivos termostatos y también estos mismos se registraron con instrumentos de medición de temperaturas ambiente de cada área. La **Tabla 11** muestra los valores higro-térmicos medidos en la ZC-UJAT utilizados como referencia para los cálculos termo energéticos.

Tabla 11. Resumen de los valores medidos y observados en la ZC-UJAT.

TEMPERATURAS	PROMEDIO MEDIDA °C	% HUMEDAD RELATIVA	
TEMP _{MINIMA} MEDIDA	19	52	60
TEMP _{MÁXIMA} MEDIDA	21	45	50

Se observó que aquellas áreas en los que había selección termostática de la temperatura mínima, el personal o usuarios de estos edificios utilizan suéteres, sacos o chamarras para lograr confort higro-térmico. Esta necesidad de ropa de invierno es debido a la baja temperatura seleccionada que ocasiona condensación y su consecuente incremento de la humedad relativa. Está condición a su vez causa incomodidad como se puede verificar en una carta psicrométrica o la carta de Olgay.

RESULTADOS

La inauguración del CIVE marca un antes y un después de la demanda de potencia y consumo de energía eléctrica en la ZC. Esto es porque las dimensiones de los equipos que ahí se instalaron representan a partir de su arranque los de mayor demanda de la ZC en su conjunto y por tanto, mayores cargos por demanda.

Se determinaron los cargos aplicables por consumo de energía eléctrica de acuerdo con las costumbres de uso y horarios definidos por la institución. La **Tabla 12** muestra los costos de demanda y energía de referencia utilizados en la investigación. Estos son los resultados obtenidos desde el análisis de los históricos de facturación eléctrica expedidos por CFE durante 21 meses. Esto fue con los cálculos realizados utilizando ecuaciones recomendadas y utilizadas por CFE, P+L y FIDE. La combinación de procedimientos de estas tres instituciones y la inclusión de modelos higro-termicos de referencia más la medición energética-meteorológica convierten en una nueva metodología la base de este trabajo. La **Tabla 12**, resume los valores de estos precios ponderados y medios por demanda y consumo de energía. Con estos se hicieron todos los cálculos que se obtuvieron aquí para cada uno de los equipos que demandan y consumen energía eléctrica en la ZC-UJAT. Los aires acondicionados deben ser operados conforme a las recomendaciones realizadas por "Lopman Technologies". Esto consiste en una combinación de cálculo de demanda y consumo energético basada en la zona de bio-confort higro-termométrico aceptada y recomendada por la ASHRE. Estándar que está basada y soportada a su vez por los resultados obtenidos por Olgay.

Tabla 12. Tarifas Para determinar cargos/ahorros por concepto de consumo de energía y demanda de potencia.

Cargos aplicables al estudio de ahorro de energía UJAT (a 6 meses)				
Tarifa Ponderada (\$ Pesos/KWH; Sin IVA, no incluye otros cargos)	Tarifa Ponderada (\$ Pesos/KWH; Inc. IVA, No incluye otros cargos)	Cargo por Demanda (\$ Pesos/KW; Sin IVA)	Cargo Por Demanda (Pesos/KW; Inc. IVA)	Precio Medio (\$ Pesos/KWH; IVA Incluido, incluye otros cargos)
1.5838	1.8214	169.0042	194.3548	2.3768

Con la aplicación de estos principios y resultados desde 1959 las pruebas y resultados obtenidos en este estudio es posible lograr estos beneficios energéticos, ambientales y económicos individuales y totales por área son mostrados y resumidos en la **Tabla 13**.

Tabla 13. Resultados en Beneficios Energéticos y Económicos Proyectados.

ID	ÁREA	Beneficios Energéticos y Ambientales			Beneficios Económicos		Inversión y PSRI		
		Ahorro en demanda (kWh/año ⁻¹)	Ahorro en Consumo kWh/año ⁻¹)	Disminución de misiones (Ton CO ₂ -año ⁻¹)	Por demanda (\$-año ⁻¹)	Por Consumo (\$-año ⁻¹)	Total (\$-año ⁻¹)	Inversión (\$)	PSRI (\$)
1	Iluminación	74.17	417,881.87	272.50	172,976.58	772,492.09	913,807.20	1,991,319.90	2.18
2	Equipo de Computo	25.84	141,619.80	92.35	59,791.84	257,943.05	317,734.89	1,076,871.00	3.39
3	Equipamiento	0.00	149,549.52	97.52	0.00	262,509.26	262,186.71	3.00	0.00
4	Aire acondicionado	267.69	1,631,103.09	1,063.64	624,324.96	2,875,906.89	3,400,231.85	1,503,160.83	0.43
TOTALES		367.50	2,340,154.27	1526.01	857,093.38	4,168,851.29	4,993,960.64	4,571,354.74	0.92

Tanto los equipos de cómputo fijos como los portátiles; el equipamiento eléctrico fijo; equipo eléctrico complementario portátil; el equipamiento de iluminación y el equipo de aire acondicionado se recomendaron que sean sustituidos iniciando con los de mayor antigüedad incluyendo aquellos que van resultando con daños.

Esta sustitución debe ser conforme estos equipos alcancen el final de la vida útil o lleguen a la obsolescencia. Deben sustituirse principalmente aquellos cuya diferencia entre sus eficiencias energéticas sean notorias ya sea individualmente o en grupo. La eficiencia que se elige debe ser siempre menor en el equipo nuevo conforme la disponibilidad tecnológica lo permita,

debido a que no es conveniente instalar equipo que no tenga soporte de refacciones o servicio disponible. Esto aplica para aquellos equipos que van llegando al final de la vida útil, se dañan o muestren obsolescencia. Esto última marca la frecuencia de revisión y actualización del equipamiento y las eficiencias del sistema. Dar especial atención a aquellos con una diferencia importante en términos de demanda y consumo de energía eléctrica. La importancia de esta metodología es que además de sus beneficios ambientales y de disminución de la demanda eléctrica, tiene altos beneficios económicos que es capaz de financiar el proyecto en su totalidad y con estos beneficios derivados de la propia facturación de demanda y energía eléctrica pagada mensualmente a CFE puede amortizar la inversión en menos de un año.

DISCUSIÓN

Con las mediciones realizadas sobre los equipos actualmente instalados y de acuerdo con los datos de placa y/o catálogos de fabricante de los equipos propuestos, se realizó el cálculo del consumo tanto para los equipos actuales como para los propuestos. La situación actual consiste en el inventario, mediciones eléctricas, físicas, determinación de horas de operación, cálculo de consumos y costos de estos. De igual forma se analizaron las posibilidades de ajustes, sustitución de equipos, refrigerantes o componentes. Se consideró también la instalación de equipos de monitoreo y/o control para lograr y comprobar los ahorros necesarios. Esto para garantizar la amortización de la inversión necesaria para lograr estos ahorros. Los equipos de mayor consumo fueron monitoreados con

analizadores de redes en algunos casos hasta por varios días. Incluso se utilizaron otros equipos como cámaras termo gráficas, luxómetros, dataloggers de temperatura y humedad relativa para soportar los hallazgos. Los resultados obtenidos son producto de varios ensayos y verificaciones en sitio de los ahorros calculados implementando las metodologías que se describieron antes en este trabajo.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos han sido corroborados, después de la aplicación de la totalidad de recomendaciones de modificaciones, tanto por tecnología como por el régimen de consumo de la energía, incluyendo cambios en horarios y recubrimientos de azoteas. A partir de los resultados obtenidos y del análisis de consumo energético previo, se obtuvo una confiabilidad mayor al 98% basados en la calibración de los instrumentos de medida, considerando la metodología modificada propuesta por P+L. Esto es debido a que cada uno de los instrumentos de medición utilizados fueron verificados y certificados previos a las mediciones realizadas con un margen de error de 0.1-0.2%. Estos resultados se obtuvieron, considerando el patrón de ocupación actual de cada área. Se considera que este estudio puede derivar en resultados que muestren una mayor disminución de los consumos energéticos, si se establecen estrategias de ocupación de los espacios, con horarios definidos, conocidos como "*occupant behaviour*".

RECONOCIMIENTOS

Se reconoce el apoyo de financiamiento de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y la apertura de Lopman Technologies en permitirnos la colaboración para lograr la obtención de los resultados que aquí se presentan acordes a los presentados por ellos a la institución.

INDICE DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
ASHRE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AVERT	Avoided Emissions and Generation Tool.
CAPECE	Comité Administrador del Programa Estatal de Construcción de Escuelas
CNA	Comisión Nacional del Agua.
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
CFE	Comisión Federal de Electricidad
FIDE	Fideicomiso para el ahorro de Energía eléctrica
GISS	Goddard Institute for Space Studies
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ONU	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
P+L	Producción más Limpia
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
UCSUSA	Union Concerned Scientists USA

REFERENCIAS

- [1] J. T. R. a. M. R. K. David Cliplet, *Power in Warmer world*, Cambridge Massachusetts:

Massachusetts Institute of Technology, MIT Press, 2015.

- [2] S. Sivaramanan, «Global Warming and climate change causes, impacts and mitigation,» *Environmental Impact Assessment unit, Environmental Management & Assessment division*, pp. 1-26, 2015.
- [3] National Aeronautics and Space Administration, Goddard Institute for Space Studies., «NASA News & Feature Releases,» 16 01 2016. [En línea]. Available: <https://www.giss.nasa.gov/research/news/20150116/>.
- [4] Union concerned Scientists USA, «REPORTS & MULTIMEDIA / EXPLAINER,» 16 07 2008. [En línea]. Available: https://www.ucsus.org/resources/hurricanes-and-climate-change#.VaKF5_mqqko. [Último acceso: 6 01 2009].
- [5] A. A. Leiserowitz, «American Risk Perceptions: Is Climate Change Dangerous?,» *Risk Analysis*, vol. 25, n° 6, pp. 1433-1442, 2005.
- [6] B. K. B. K. Berit Kvaløy, «The publics' concern for global warming: A cross-national study of 47 countries.,» *Journal of Peace Research*, vol. 49, n° 1, pp. 11-22, 31 01 2012.
- [7] Comisión Nacional del Agua, CNA., «Normales Climatológicas por Estado,» 09 08 2020. [En línea]. Available: <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=tab>.

-
- [8] Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, Manual de Producción más Limpio: Introducción a La Producción más Limpia, N/A: ONUDI, 2018, p. 29.
- [9] Fideicomiso para el Ahorro de Energía: FIDE, «Eficiencia Energética,» 17 Febrero 2008. [En línea]. Available: https://www.fide.org.mx/?page_id=14773. [Último acceso: Actualizada: 14 Actualizada: enero Actualizada: 2022].
- [10] PNUD, Objetivos del Desarrollo Sostenible: OBJETIVO 7: ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE, N/A: PNUD, 2016.
- 11] Fide, «Energía Racional,» *Fide, Revista informativa del Ahorro de Energía Eléctrica*, vol. 8, n° 30, pp. 5-11, 1999.