



## Procedimiento para la evaluación Energética de Motores Eléctricos

### □ PRESENTACIÓN

El propósito de este artículo es mostrar un procedimiento práctico de evaluación de motores eléctricos para determinar la rentabilidad de su reemplazo por otro de alta eficiencia y no todo un tratado de motores, por ello, la base de datos incluida está sustentada en la información de un número representativo de marcas de motores comercializados en México, ya que el tratar de conjuntar a todas las marcas vendidas en nuestro país no sería práctico y quedaría fuera del alcance de esta publicación.

### □ OBJETIVO

Establecer el procedimiento de cálculo para la evaluación técnico económica de la sustitución de motores eléctricos estándar por motores de alta eficiencia a través del método de factor de carga, considerando sus parámetros eléctricos sin necesidad de pruebas de laboratorio o equipos sofisticados de medición.

### □ INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es un insumo fundamental en todos los procesos productivos y un satisfactor indispensable para la sociedad, ahora más que nunca dadas las condiciones que prevalecen en todo el mundo, caracterizadas por una mayor globalización de las economías resulta indispensable hacer más eficientes los procesos productivos y racionalizar el consumo con objeto de competir sin desventajas en el ámbito internacional. La correcta implantación de programas de ahorro de energía eléctrica incide evidentemente en la productividad y conlleva a una participación más activa de la industria nacional en el mercado internacional.

Uno de los medios más efectivos para impulsar el ahorro de energía eléctrica es la difusión sobre las alternativas tecnológicas existentes en el mercado así como técnicas de evaluación y aplicación; por tal motivo, el compromiso del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica

es el ser promotor del desarrollo de la cultura en ahorro y uso eficiente de los recursos energéticos, así como difundir estas tecnologías y técnicas a escala nacional.

### □ EFICIENCIA DE UN MOTOR ELÉCTRICO POR MEDIO DEL FACTOR DE CARGA

Cuando un motor trabaja a una carga diferente de la nominal se produce una variación en la eficiencia. De acuerdo a la información de diferentes fabricantes se sabe que la mayor eficiencia de un motor, se obtiene en torno al 85% de factor de carga, en el caso de motores de alta eficiencia y al 75% para motores de eficiencia estándar.

Con el fin de hacer más didáctica la presentación del procedimiento de cálculo se hará a través de un ejemplo.

**Nota.-** La descripción de la nomenclatura utilizada se describe en la sección correspondiente.

### □ DATOS DE PLACA Y MEDICIONES

<i>Mediciones</i>	<i>Unidades</i>
$V_{STD1} = 445.1$	Volts
$V_{STD2} = 446.9$	Volts
$V_{STD3} = 445.1$	Volts
$I_{STDp} = 63.2$	Amps
$FP_{STDp} = 0.67$	1
<b><i>Datos del motor (placa)</i></b>	
$V_{placa} = 440$	Volts
$hp_{placa} = 100$	Hp
$\eta = 0.9184^1$	1
<b><i>Datos de facturación</i></b>	
Tiempo de operación al año = 7,200	hrs
$Costo_D = 68.970$	\$/kW
$Costo_{C ponderado} = 0.4283^2$	\$/kWh

<sup>1</sup> Ver Anexo 1 Motor de 100 hp, abierto, 1800 rpm, de eficiencia estándar

<sup>2</sup> Ver Anexo 2



## AHORRO DE ENERGÍA MEDIANTE LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉCTRICOS

### □ PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO ENERGÉTICO

**Paso 1. *Evaluar la potencia estándar demandada a partir de las mediciones eléctricas***

$$Pot_{STD\ ele} = \frac{(\sqrt{3})(V_{STDp})(I_{STDp})(FP_{STDp})}{1,000} \dots [kW] \quad (1)$$

Sustituyendo los valores de las mediciones en la ecuación (1) se tiene la potencia demandada por el motor actual.

$$Pot_{STD\ ele} = \frac{(\sqrt{3})\left(\frac{445.1 + 446.9 + 445.1}{3}\right)(63.2)(0.67)}{1,000} = 32.69 \text{ kW}$$

**Paso 2. *Evaluar el factor de carga y la eficiencia del motor actual***

$$Sí \quad FC_{STD} = \frac{hp_{flecha}}{hp_{placa}} = \frac{\text{Potencia en la flecha}}{\text{Potencia nominal}} \quad \text{donde}$$

$$\text{Potencia en la flecha} = \frac{(\text{Potencia eléctrica})(\eta)}{0.746 \text{ kW}/hp}$$

Por lo tanto

$$FC_{STD} = \left[ \frac{(Pot_{STD\ ele})(\eta)}{(hp_{placa})(0.746)} \right] \quad (2.1)$$

Cuando la eficiencia del motor no esté indicada en la placa o no se dispone del catálogo del fabricante, se tomarán los datos de eficiencia del Anexo 1, considerando 100% de carga.

Sustituyendo en la ecuación 2.1 se obtiene el factor de carga al cual está trabajando el motor actual.

$$FC_{STD} = \left[ \frac{(32.69)(0.9184)}{(100)(0.746)} \right] = 0.4024$$

Para determinar la eficiencia a 0.4024 de factor de carga, se procederá con una interpolación lineal entre el factor de carga inmediato inferior

y el superior, de acuerdo a la ecuación 2.2 y la información del Anexo 1

$$\eta_{STD} = \left( \frac{FC_{STD} - FC_1}{FC_2 - FC_1} \right) (\eta_2 - \eta_1) + \eta_1 \quad (2.2)$$

donde:

Factor de carga	Eficiencia
$FC_1 = 0.25$	$\eta_1 = 0.8858$
$FC_{STD} = 0.4024$	$\eta_{STD} = ?$
$FC_2 = 0.50$	$\eta_2 = 0.9221$

Entonces

$$\eta_{STD} = \left( \frac{0.4024 - 0.25}{0.50 - 0.25} \right) (0.9221 - 0.8858) + 0.8858 = 0.9079$$

**Paso 3. *Efectuar los ajustes a la eficiencia***

El ajuste a la eficiencia del motor actual se realiza por medio de la ecuación 3.1.

$$\eta_{STD\ ajustada} = FA_{dv} (\eta_{STD} + FA_{vv} - FA_{re}) \quad (3.1)$$

Donde:

➤ ***FA<sub>vv</sub>***- Factor de ajuste por diferencia en tensión

La diferencia en tensión se define como la relación de la tensión trifásica promedio de línea y la tensión indicada en placa, tal como se muestra en la ecuación 3.2.

$$VV_{STD} = \left( \frac{V_{STDp}}{V_{STD\ placa}} - 1 \right) \quad (3.2)$$

Una vez determinada la diferencia en tensión se puede calcular el factor de ajuste por medio de la ecuación 3.3.

$$FA_{vv} = (VV_{STD}) [0.07 - 1.334(VV_{STD})] - 0.0009 \quad (3.3)$$

En el caso del ejemplo, al sustituir los valores correspondientes en la ecuación 3.2 y luego en 3.3 se tiene



## AHORRO DE ENERGÍA MEDIANTE LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉCTRICOS

$$VV_{STD} = \left( \frac{445.7}{440} - 1 \right) = 0.0130$$

$$FA_{vv} = (0.013)[0.07 - 1.334(0.013)] - 0.0009 = -0.0002$$

### ➤ *FA<sub>dv</sub>* - Factor de ajuste por desbalanceo en tensión.

El desbalanceo en tensión se define como la máxima desviación de la tensión de línea, al valor promedio del sistema, entre la tensión promedio, como se muestra en la ecuación 3.4.

$$DV_{STD} = \left( \frac{\text{Max} \{ (V_{STDmax} - V_{STDp}) \text{ ó } (V_{STDp} - V_{STDmin}) \}}{V_{STDp}} \right) \quad (3.4)$$

Una vez determinado el desbalanceo en tensión el factor de ajuste por desbalanceo en tensión, se puede calcular con la ecuación 3.5.

$$FA_{dv} = 1 - (DV_{STD}) [0.0113 + 0.0073(DV_{STD})] \quad (3.5)$$

Al sustituir los valores correspondientes en las ecuaciones 3.4 y 3.5 se tiene

$$DV_{STD} = \left( \frac{\text{Max} \{ (446.9 - 445.7) \text{ ó } (445.7 - 445.1) \}}{445.7} \right) \\ = \left[ \frac{\text{Max} \{ (1.2) \text{ ó } (0.6) \}}{445.7} \right] = \left( \frac{1.2}{445.7} \right) = 0.0027$$

$$FA_{dv} = 1 - (0.0027)[0.0113 + 0.0073(0.0027)] = 0.9999$$

### ➤ *FA<sub>re</sub>* - Factor de ajuste por reembobinados

Todo motor que ha sido reembobinado, sufre deterioro en su eficiencia. Cuando se realiza en talleres sin las características necesarias o no cuenta con la calidad de los materiales, las pérdidas pueden ser de 4.2% ó más. En la tabla 1 se muestra la relación de pérdida unitaria de la eficiencia en función de la temperatura aplicada durante la reparación del motor.

Es importante destacar que la corrección a la eficiencia por reembobinados solo se deberá aplicar en una sola ocasión, independientemente del número de reembobinados.

Temperatura (°C)	Reducción de la eficiencia FA <sub>re</sub>
633	0.0053
683	0.0117
733 (soplete)	0.0250

Tabla 1

En este ejemplo las pérdidas debido a los reembobinados será considerada en 0.025 debido a que fue reparado en un taller donde utilizan soplete para la extracción de los devanados, entonces

$$FA_{re} = 0.025$$

Ahora sustituyendo los resultados obtenidos en la ecuación (3.1), se obtiene la eficiencia real del motor actual.

$$\eta_{STDajustada} = 0.9999(0.9079 - 0.0002 - 0.025) = 0.8826$$

### Paso 4. Determinar la potencia al freno del motor actual (estándar)

$$Pot_{STDmec} = (\eta_{STDajustada}) (Pot_{STDele}) \dots [\text{kW, hp}] \quad (4)$$

En este caso Pot<sub>STDmec</sub> es la energía mecánica entregada al sistema motriz accionado por el motor actual y será la misma para el motor de alta eficiencia.

$$Pot_{STDmec} = (0.8826)(32.69) = 28.85 \text{ kW equivalente a } 38.68 \text{ hp}$$

### Paso 5. Proponer nuevo motor de Alta Eficiencia

Una vez conocida la potencia al freno se selecciona el motor de alta eficiencia para que trabaje cerca del 75% de carga.

$$Pot_{AEmec} = \left[ \frac{Pot_{STDmec}}{0.75} \right] \dots [\text{hp, kW}] \quad (5.1)$$

Para el caso del ejemplo se tiene

$$Pot_{AEmec} = \frac{28.85}{0.75} = 38.47 \text{ kW} = 51.56 \text{ hp}$$

Una vez determinada la potencia necesaria en el motor de alta eficiencia se debe calcular el factor de



## AHORRO DE ENERGÍA MEDIANTE LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉCTRICOS

carga al cual trabajará a través de la siguiente relación:

$$FC_{AE} = \left( \frac{Pot_{STD\ mec}}{Pot_{AE\ placa}} \right) \quad (5.2)$$

Donde  $Pot_{AE\ placa}$  estará determinada por la potencia del motor inmediato superior a la obtenida por la ecuación 5.1, que en este caso es de 60 hp.

$$FC_{AE} = \left[ \frac{Pot_{STD\ mec} \left[ \frac{hp}{hp} \right]}{Pot_{AE\ placa} \left[ \frac{hp}{hp} \right]} \right] = \left( \frac{38.68}{60} \right) = 0.6447$$

### Paso 6. Determinar la eficiencia del nuevo motor

Con base al factor de carga se determina la eficiencia del nuevo motor de acuerdo al catalogo de fabricante o bien del Anexo 1 (motor de alta eficiencia, 60 hp, abierto y 1800 r.p.m.)

Como no coinciden los valores del factor de carga con los datos del Anexo 1, será necesario interpolar con la siguiente ecuación y los valores correspondientes

$$\eta_{AE} = \left( \frac{FC_{AE} - FC_1}{FC_2 - FC_1} \right) (\eta_2 - \eta_1) + \eta_1 \quad (6)$$

Factor de carga	Eficiencia
$FC_1 = 0.50$	$\eta_1 = 0.9469$
$FC_{AE} = 0.6447$	$\eta_{AE} = ?$
$FC_2 = 0.75$	$\eta_2 = 0.9499$

$$\eta_{AE} = \left( \frac{0.6447 - 0.50}{0.75 - 0.50} \right) (0.9499 - 0.9469) + 0.9469 = 0.9486$$

### Paso 7. Efectuar los ajustes a la eficiencia

La siguiente ecuación se derivada de la (3.1), con  $FA_{re}=0$ , por ser un motor nuevo,  $\eta_{AE}=0.9486$  y  $FA_{dv} = 0.9999$

$$\eta_{AE\ ajustada} = FA_{dv} (\eta_{AE} + FA_{vv}) \quad (7)$$

$FA_{vv}$  se tendrá que determinar con las ecuaciones 3.2 y 3.3 de acuerdo a los datos de placa del motor de alta eficiencia, que en este caso es 460 V, entonces:

$$VV = \left( \frac{\frac{445.1 + 446.9 + 445.1}{3}}{460} - 1 \right) = -0.0311$$

$$FA_{vv} = (-0.0311)[0.07 - 1.334(-0.0311)] - 0.0009 = -0.0044$$

Con estos datos en la ecuación (7) se tiene:

$$\eta_{AE\ ajustada} = 0.9999(0.9486 - 0.0044) = 0.9441$$

### Paso 8. Calcular la potencia demandada por el nuevo motor

Con la eficiencia, la potencia de placa y el factor de carga al que trabajará el nuevo motor se calcula la potencia eléctrica que demandará.

$$Pot_{AE\ ele} = \frac{(Pot_{AE\ mec})(FC_{AE})(0.746)}{\eta_{AE\ ajustada}} \dots [kW] \quad (8)$$

$$Pot_{AE\ ele} = \frac{(60)(0.6447)(0.746)}{0.9441} = 30.57 \text{ kW}$$

### Paso 9. Cálculo del ahorro energético y económico

#### ➤ Cálculo del ahorro en Potencia (Demanda)

Para obtener el ahorro se resta el valor de la potencia que demandará el nuevo motor de alta eficiencia a la demanda el motor actual.

$$A_D = Pot_{STD\ ele} - Pot_{AE\ ele} \dots [kW] \quad (9.1)$$

Entonces,

$$A_D = 32.69 - 30.57 = 2.12 \text{ kW}$$

Lo que representa un ahorro del  $\frac{2.12}{32.69} * 100 = 6.49\%$

#### ➤ Cálculo del ahorro en Energía (Consumo)



## AHORRO DE ENERGÍA MEDIANTE LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉCTRICOS

Con el ahorro en demanda y las horas de operación al año, se calcula el ahorro de energía al año (kWh/año).

$$A_C = (A_D)(\text{hora de operación al año}) \dots [\text{kWh/año}] \quad (9.2)$$

Por lo tanto para el ejemplo se tiene:

$$A_C = (2.12)(7,200) = 15,264 \text{ kWh/año}$$

### ➤ Cálculo del ahorro económico

Con el ahorro en consumo y demanda se calcula el ahorro económico anual.

$$A_E = (12)(A_D)(\text{Costo}_D) + (A_C)(\text{Costo}_{C \text{ Ponderado}}) \dots [\$/\text{año}] \quad (9.3)$$

Donde el Costo<sub>D</sub> se obtiene de los datos de facturación o de la página electrónica de la C.F.E.: [www.cfe.gob.mx/gercom/tarifa100/](http://www.cfe.gob.mx/gercom/tarifa100/)

El Costo<sub>C Ponderado</sub> en el Anexo 2 se muestra cómo se calcula.

$$A_E = (12)(2.12)(68.970) + (15,336)(0.4283) = 8,323.01 \text{ \$/año}$$

### Paso 10. Período de amortización o Período Simple de Recuperación

$$P.S.R. = \frac{\text{Inversión}}{A_E} \dots [\text{años}] \quad (10)$$

Considerando el precio de referencia de \$2,012.35 USD y una paridad de \$9.35/USD, se tiene un costo de \$18,815.47

$$P.S.R. = \frac{18,815.47}{8,323.01} = 2.26 \text{ años}$$

Con el fin de hacer un análisis más profundo se desarrollará el mismo procedimiento ahora con un motor de 50 hp. Los primeros cuatro pasos se omiten por corresponder al motor estándar actual.

### Paso 5. Proponer el nuevo motor de alta eficiencia.

$$FC_{AE} = \left[ \frac{\text{Pot}_{\text{STD mec}}}{\text{Pot}_{\text{AE placa}}} \right] = \left( \frac{38.67}{50} \right) = 0.7734$$

### Paso 6. Determinar la eficiencia del nuevo motor de alta eficiencia de 50 hp, abierto y 1800 rpm en el Anexo 1.

Con los datos del Anexo 1 para un motor de alta eficiencia de 50 hp, abierto a 1800 r.p.m.

Factor de carga	Eficiencia
$FC_1 = 0.75$	$\eta_1 = 0.9484$
$FC = 0.7734$	$\eta = ?$
$FC_2 = 1.0$	$\eta_2 = 0.9409$

$$\eta_{AE} = \left( \frac{0.7734 - 0.75}{1.0 - 0.75} \right) (0.9409 - 0.9484) + 0.9484 = 0.9477$$

### Paso 7. Efectuar los ajustes a la eficiencia

Con  $FA_{vv}$  y  $FA_{dv}$  iguales a los calculados con anterioridad  $FA_{vv} = -0.0044$  y  $FA_{dv} = 0.9999$  en la ecuación (7) se tiene:

$$\eta_{AE \text{ ajustada}} = 0.9999(0.9477 - 0.0044) = 0.9432$$

### Paso 8. Calcular la potencia demandada por el nuevo motor

$$\text{Pot}_{\text{AE ele}} = \frac{(50)(0.7734)(0.746)}{0.9432} = 30.59 \text{ kW}$$

### Paso 9. Cálculo del ahorro energético y económico

#### ➤ Cálculo del ahorro en Potencia (Demanda)

$$A_D = 32.69 - 30.59 = 2.1 \text{ kW}$$

Lo que representa un ahorro del  $\frac{2.1}{32.69} * 100 = 6.42\%$

#### ➤ Cálculo del ahorro en Energía (Consumo)

Con el ahorro en demanda y las horas de operación al año, se calculan los ahorros de energía (kWh) anuales.



## AHORRO DE ENERGÍA MEDIANTE LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉCTRICOS

$$A_c = (2.1)(7,200) = 15,120 \text{ kWh/año}$$

### ➤ Cálculo del ahorro económico

Con el ahorro en consumo y demanda se determina el ahorro económico anual.

$$A_{E \text{ Total}} = (12)(2.1)(68.970) + (15,120)(0.4283) = 8,213.94 \text{ \$/año}$$

### Paso 10. Período de amortización o Período Simple de Recuperación

Considerando el precio de referencia de \$1,671.03 USD y una paridad de \$9.35/USD, se tiene un costo de \$15,624.13

$$P.S.R. = \frac{15,624.13}{8,213.94} = 1.90 \text{ años}$$

### ❑ CONCLUSIONES

Para comparar los casos analizados, se puede utilizar el índice de rendimiento de inversión ( $\$/\text{kWh}_{\text{ahorrado}}$ ) que permite identificar con claridad el ahorro en función de la inversión:

$$\text{Para } 60 \text{ hp} = \frac{\$19,419.37}{15,336 \text{ kWh/año}} = 1.27 \text{ \$/kWh}_{\text{ahorrado}}$$

$$\text{Para } 50 \text{ hp} = \frac{\$16,125.44}{15,120 \text{ kWh/año}} = 1.07 \text{ \$/kWh}_{\text{ahorrado}}$$

En el primer ejemplo resulta más rentable el reemplazar el motor de 100 hp original por el de 50 hp aún cuando el motor de 60 hp permite un mayor ahorro de energía (50 hp: 6.42%, 60 hp: 6.49%), esto se debe al precio del motor y se corrobora por el índice de rendimiento de capital que para el motor de 50 hp es de \$1.07 de inversión por kWh ahorrado al año mientras que para el de 60 hp es de \$1.27/kWh.

hp	Kw. Original	hp Nuevo	Ahorro			PSR
			Kw.	kWh/año	\\$/año	
100	32.69	50	2.10	15,120	8,213.94	1.90
		60	2.12	15,264	8,323.01	2.26

### ❑ NOMENCLATURA

A	Ahorro	
FA	Factor de ajuste	1
FC	Factor de carga	1
FP	Factor de potencia	1
hp	Potencia nominal de un motor	hp
I	Corriente	Amperes
Pot	Potencia demandada	KW
V	Tensión	Volts
$\eta$	Eficiencia	1
S/d	Sin datos suficientes	

### SUBINDICES

AE	Referente al motor de alta eficiencia
Ajustada	Se refiere a un ajuste
C	Consumo
D	Demanda
dv	Referente a desbalanceo de tensión
E	Económico
ele	Eléctrica
max	Valor máximo de una serie
mec	Mecánica
min	Valor mínimo de una serie
p	Promedio
placa	Datos de placa
ponderado	Se refiere a una ponderación
re	Relativo a rebobinado
STD	Referente al motor de eficiencia estándar
vv	Referente a diferencia de tensión

### VARIABLE

### UNIDADES

Procedimiento de Evaluación para la Sustitución de Motores Eléctricos de Eficiencia Estándar por Motores de Alta Eficiencia



# AHORRO DE ENERGÍA MEDIANTE LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉCTRICOS

## ANEXO 1

### Tablas de Eficiencia de Motores estándar y de Alta Eficiencia

Pot (hp)	Tipo	Carcaza	Polos	rpm	Ef 0.25	Ef 0.50	Ef 0.75	Ef 1.0	\$ USD
5	STD	abierto	2	3600	0.7615	0.8247	0.8374	0.8270	259.74
			4	1800	0.7435	0.8162	0.8422	0.8320	255.81
			6	1200	0.7735	0.8118	0.8285	0.8383	389.54
		cerrado	2	3600	0.7633	0.8404	0.8608	0.8575	323.35
			4	1800	0.7840	0.8528	0.8633	0.8549	232.05
			6	1200	0.7674	0.8204	0.8443	0.8470	520.09
	AE	abierto	2	3600	0.7230	0.8090	0.8365	0.8350	1,027.65
			4	1800	0.8390	0.8657	0.8737	0.8733	421.20
			6	1200	0.8358	0.8927	0.8963	0.8998	390.98
		cerrado	2	3600	0.8266	0.8703	0.8900	0.8891	500.69
			4	1800	0.8170	0.8845	0.8965	0.8900	867.53
			6	1200	0.8267	0.8911	0.8938	0.8994	466.61
7.5	STD	abierto	2	3600	0.8429	0.8963	0.9055	0.8959	427.51
			4	1800	0.8375	0.8918	0.9014	0.8931	676.06
			6	1200	0.8130	0.8828	0.8945	0.8900	917.31
		cerrado	2	3600	0.8090	0.8563	0.8916	0.8933	323.58
			4	1800	0.8044	0.8523	0.8588	0.8492	328.05
			6	1200	0.8044	0.8523	0.8588	0.8492	328.05
	AE	abierto	2	3600	0.7430	0.8358	0.8506	0.8498	906.86
			4	1800	0.8253	0.8619	0.8758	0.8686	433.72
			6	1200	0.7985	0.8679	0.8783	0.8722	438.13
		cerrado	2	3600	0.7941	0.8449	0.8595	0.8567	729.14
			4	1800	0.7420	0.8332	0.8743	0.8329	1,155.98
			6	1200	0.8066	0.8287	0.8697	0.8697	539.25
10	STD	abierto	2	3600	0.8341	0.9019	0.9058	0.9050	450.65
			4	1800	0.8362	0.8933	0.9034	0.9029	702.41
			6	1200	0.8360	0.8945	0.9010	0.8940	1,047.37
		cerrado	2	3600	0.8495	0.8993	0.9086	0.9024	568.82
			4	1800	0.8661	0.9077	0.9150	0.9102	577.99
			6	1200	0.8482	0.9017	0.9111	0.9078	924.33
	AE	abierto	2	3600	0.8294	0.8867	0.8960	0.8857	1,388.40
			4	1800	0.8123	0.8649	0.8783	0.8684	386.32
			6	1200	0.8181	0.8653	0.8696	0.8639	384.32
		cerrado	2	3600	0.8513	0.8646	0.8808	0.8747	663.30
			4	1800	0.7950	0.8562	0.8676	0.8570	1,021.28
			6	1200	0.8328	0.8966	0.8873	0.8890	533.50
15	STD	abierto	2	3600	0.8274	0.8983	0.9019	0.9046	1,137.36
			4	1800	0.8035	0.8613	0.8741	0.8689	808.81
			6	1200	0.7980	0.8630	0.8735	0.8650	1,513.53
		cerrado	2	3600	0.8345	0.8980	0.9054	0.8995	523.75
			4	1800	0.8697	0.9137	0.9162	0.9083	533.10
			6	1200	0.8633	0.9130	0.9187	0.9140	920.04
	AE	abierto	2	3600	0.8585	0.9053	0.9113	0.9050	1,223.95
			4	1800	0.8723	0.9119	0.9177	0.9110	687.38
			6	1200	0.8697	0.9142	0.9186	0.9092	658.21
		cerrado	2	3600	0.8634	0.9066	0.9140	0.9094	1,102.71
			4	1800	0.8333	0.8989	0.9069	0.9008	1,171.37
			6	1200	0.8605	0.8886	0.8919	0.8726	532.03
20	STD	abierto	2	3600	0.8477	0.8902	0.8943	0.8815	534.83
			4	1800	0.7973	0.8643	0.8731	0.8675	810.48
			6	1200	0.8135	0.8708	0.8764	0.8660	1,314.82
		cerrado	2	3600	0.8219	0.8728	0.8878	0.8770	662.58
			4	1800	0.8029	0.8713	0.8853	0.8790	746.10
			6	1200	0.8754	0.8578	0.8761	0.8763	1,173.98
	AE	abierto	2	3600	0.7683	0.8785	0.8815	0.8660	1,851.85
			4	1800	0.8754	0.9136	0.9149	0.9049	604.68
			6	1200	0.8728	0.9261	0.9298	0.9253	763.58
		cerrado	2	3600	0.8634	0.9134	0.9199	0.9186	1,079.71
			4	1800	0.8665	0.9100	0.9130	0.9050	1,560.87
			6	1200	0.8691	0.9119	0.9206	0.9159	903.84
25	STD	abierto	2	3600	0.8964	0.9236	0.9275	0.9243	865.01
			4	1800	0.8739	0.9155	0.9220	0.9258	1,451.19
			6	1200	0.8488	0.9066	0.9102	0.9008	2,130.05
		cerrado	2	3600	0.8736	0.9002	0.9037	0.8886	560.07
			4	1800	0.8339	0.8857	0.8888	0.8789	649.26
			6	1200	0.8606	0.8902	0.8943	0.8844	1,004.07
	AE	abierto	2	3600	0.8045	0.8783	0.8883	0.8800	1,542.78
			4	1800	0.8140	0.8708	0.8934	0.8881	811.25
			6	1200	0.8294	0.8876	0.8970	0.8890	919.57
		cerrado	2	3600	0.8181	0.8849	0.8912	0.8841	1,385.70
			4	1800	0.8493	0.8830	0.8908	0.8818	2,082.40
			6	1200	0.8754	0.9100	0.9137	0.9004	699.80
30	STD	abierto	2	3600	0.8926	0.9295	0.9314	0.9216	825.67
			4	1800	0.8827	0.9229	0.9272	0.9202	1,332.42
			6	1200	0.8870	0.9210	0.9230	0.9144	1,858.19
		cerrado	2	3600	0.8898	0.9208	0.9277	0.9195	1,134.27
			4	1800	0.8964	0.9301	0.9341	0.9280	1,045.60
			6	1200	0.9242	0.9393	0.9383	0.9178	1,733.67
	AE	abierto	2	3600	0.8800	0.9164	0.9201	0.9088	2,652.33
			4	1800	0.8926	0.9275	0.9314	0.9250	1,432.42
			6	1200	0.8957	0.9365	0.9375	0.9264	5,947.62
		cerrado	2	3600	0.8510	0.9049	0.9129	0.9043	1,045.60
			4	1800	0.8510	0.9049	0.9129	0.9043	1,045.60
			6	1200	0.8510	0.9049	0.9129	0.9043	1,045.60
40	STD	abierto	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			6	1200	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
		cerrado	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			6	1200	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
	AE	abierto	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			6	1200	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
		cerrado	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			6	1200	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
50	STD	abierto	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			6	1200	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
		cerrado	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			6	1200	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
	AE	abierto	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			6	1200	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
		cerrado	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			6	1200	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
75	STD	abierto	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			6	1200	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
		cerrado	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			6	1200	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
	AE	abierto	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			6	1200	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
		cerrado	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			6	1200	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
100	STD	abierto	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			6	1200	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
		cerrado	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			6	1200	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
	AE	abierto	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			6	1200	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
		cerrado	2	3600	0.8810	0.9175	0.9252	0.9174	1,385.70
			4	1800	0.8810				



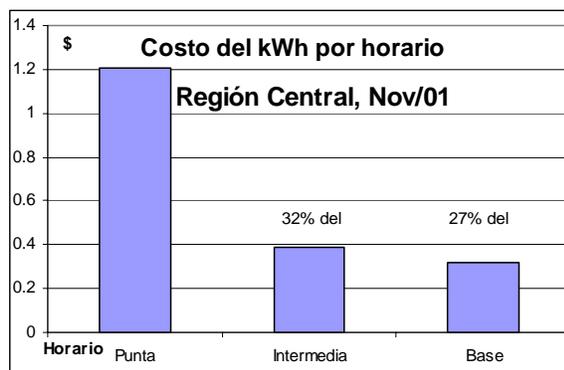
# AHORRO DE ENERGÍA MEDIANTE LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉCTRICOS

## A N E X O 2

### Cálculo del Costo Ponderado del kWh para Tarifa H-M

El costo ponderado del kWh es práctico para el cálculo de facturación en tarifas horarias, pues conocer la proyección exacta de la facturación de una empresa sería un procedimiento muy largo y poco práctico puesto que el costo del kWh real depende del uso horario, de la región geográfica de consumo, de las horas en punta, intermedia y base, además el costo para cada horario, etc.

REGIÓN CENTRAL				
VERANO	Del primer domingo de abril, al sábado anterior al último domingo de octubre			
	Día de la Semana	Base	Intermedia	Punta
	Lunes a Viernes	0.00-6.00	6.00-20.00 22.00-24.00	20.00-22.00
	Sábado	0.00-7.00	7.00-24.00	
Domingos y Festivos	0.00-19.00	19.00-24.00		
INVIERNO	Del último domingo de octubre, al sábado anterior al primer domingo de abril			
	Lunes a Viernes	0.00-6.00	6.00-18.00 22.00-24.00	18.00-22.00
	Sábado	0.00-8.00	8.00-19.00 21.00-24.00	19.00-21.00
	Domingos y Festivos	0.00-18.00	18.00-24.00	



PERIODO	HORAS AL DÍA PARA HORARIO								
	BASE			INTERMEDIA			PUNTA		
	L-V	S	D-F	L-V	S	D-F	L-V	S	D-F
Verano	6	7	19	16	17	5	2	0	0
Invierno	6	8	18	14	14	6	4	2	0

El número de días de cada periodo se multiplica por el número de horas al día de cada horario, para determinar cuántas horas del año corresponden a horario punta, intermedia y base, como se muestra a continuación:

A continuación se presenta el procedimiento para determinar el costo ponderado del kWh en tarifa HM para la región central.

BASIS	Horario	Día	Horas al día	Días	Horas por periodo
S	7	30	210		
D-F	19	31	589		
Invierno	L-V	6	106	636	
	S	8	22	176	
	D-F	18	27	486	
Total Base					2,991

Se cuentan los domingos y días festivos (D-F), los sábados (S) y los días hábiles de lunes a viernes (L-V) del año para cada horario.

INTERMEDIO	Horario	Día	Horas al día	Días	Horas por periodo
S	17	30	510		
D-F	5	31	155		
Invierno	L-V	14	106	1,484	
	S	14	22	308	
	D-F	6	27	162	
Total Intermedia					5,003

PERIODO	DÍAS DURANTE 2001				TOT
	L-V	S	D-F	Subtotal	
Verano	149	30	31	210	365
Invierno	106	22	27	155	

Se necesita saber cuántas horas corresponden a horario base, intermedia y punta, para periodo de verano e invierno respectivamente.

PUNTA	Horario	Día	Horas al día	Días	Horas por periodo
S	0	30	0		
D-F	0	31	0		
Invierno	L-V	4	106	424	
	S	2	22	44	
	D-F	0	27	0	
Total Punta					766

Se determina la fracción de horas base, intermedia y punta que existen en el año, tomando en consideración 8,760 horas para el año 2001 (365 días).



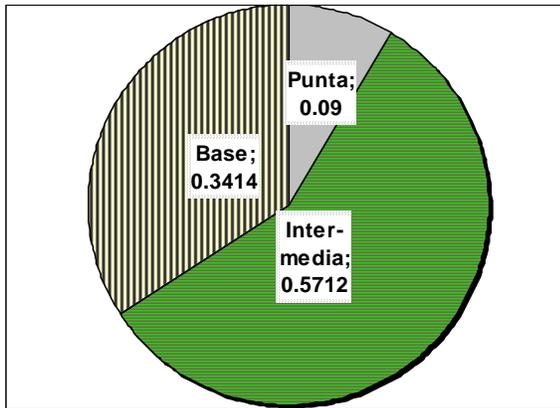
## AHORRO DE ENERGÍA MEDIANTE LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉCTRICOS

$$\text{Fracción}_{\text{horario base}} = \frac{2,991}{8,760} = 0.34144$$

$$\text{Fracción}_{\text{horario intermedio}} = \frac{5,003}{8,760} = 0.57112$$

$$\text{Fracción}_{\text{horario punta}} = \frac{766}{8,760} = 0.08744$$

En la siguiente gráfica se muestra la fracción de horas que existen al año por cada horario.



Consultando la página de C.F.E. se obtiene el costo de la electricidad para el mes deseado y la

región como se muestra a continuación:

Noviembre 2001		
\$/kWh Punta	\$/kWh Intermedia	\$/kWh Base
1.205	0.3856	0.322

Y el costo ponderado del kWh se obtiene de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \$/\text{kWh}_{\text{ponderado}} &= (\text{Fracción}_{\text{base}}) \left( \$/\text{kWh}_{\text{base}} \right) + \\ & (\text{Fracción}_{\text{intermedia}}) \left( \$/\text{kWh}_{\text{intermedia}} \right) + \\ & (\text{Fracción}_{\text{punta}}) \left( \$/\text{kWh}_{\text{punta}} \right) \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores anteriores se tiene:

$$\begin{aligned} \$/\text{kWh}_{\text{ponderado}} &= (0.3414)(0.322) + \\ & (0.5712)(0.3856) + \\ & (0.0874)(1.205) = 0.4283 \end{aligned}$$

El valor de 0.4283\$/kWh se podrá utilizar en los cálculos de ahorro económico en cualquier tipo de proyecto.