

**AHORRO DE ENERGIA EN LA SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE LOS  
MOTORES ELECTRICOS DE UNA PLANTA**

**MINASYAN STHER MORENO RUIZ**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
SANTIAGO DE CALI, 2001**

**AHORRO DE ENERGIA EN LA SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE LOS  
MOTORES ELECTRICOS DE UNA PLANTA**

**MINASYAN STHER MORENO RUIZ**

**DIRECTORES**

Arturo Martínez

Ingeniero Electricista

Gerardo Palencia

Ingeniero Mecánico

**ASESOR**

Enrique Ciro Quispe

Ingeniero Electricista

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DE OCCIDENTE**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍAS**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**SANTIAGO DE CALI, 2001**

## **Nota de aceptación**

Aprobado por el comité de trabajo de grado en el cumplimiento de los requisitos exigidos por la Corporación Universitaria Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniera Electricista.

YURI LÓPEZ CASTRILLÓN

---

Presidente

ENRIQUE CIRO QUISPE

---

Jurado

YURI LÓPEZ CASTRILLÓN

---

Jurado

Santiago de Cali, 11 de diciembre del 2001

## **AGRADECIMIENTOS**

La autora expresa su especial agradecimiento

A los ingenieros:

Arturo Martínez, Ingeniero Electricista del Departamento de Mantenimiento Eléctrico de la planta de PROPAL S.A.

Gerardo Palencia, Ingeniero Mecánico del Departamento de Tecnología de Procesos de la planta de PROPAL S.A;

directores del proyecto quienes siempre prestaron especial atención a las inquietudes planteadas durante este trabajo.

Al Ingeniero MSc. Enrique Ciro Quispe, Asesor de Tesis, Jefe del área de Máquinas Eléctricas de la Corporación Universitaria Autónoma de Occidente.

A la empresa Productora de Papeles PROPAL S.A. por brindarme la oportunidad de hacer la practica empresarial y proporcionarme los medios para el cumplimiento de este proyecto.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron para llevar a feliz término este proyecto, que me permite recibir el título como profesional.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	10
1. CARACTERÍSTICAS NORMALIZADAS DE LOS MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN.	12
1.1. TAMAÑO DE LA CARCASA, ENVOLTURA O FRAME.	12
1.1.1. Denominación del frame en la norma IEC.	12
1.1.2. Denominación del frame en la norma NEMA.	13
1.2. TIPO DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.	13
1.3. TIPO DE PROTECCION.	16
1.4. CLASE TÉRMICA DE LOS AISLAMIENTOS.	18
1.5. CARACTERÍSTICAS PAR-VELOCIDAD.	18
1.6. CORRIENTE DE ARRANQUE.	21
1.7. REGÍMENES DE OPERACIÓN.	21
1.8. MARCADO DE TERMINALES Y DIRECCION DE ROTACIÓN.	24
1.9. COMPROBACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN.	25
1.10. EFICIENCIA NOMINAL.	25
2. MOTORES DE ALTA EFICIENCIA.	28
2.1. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LOS MOTORES ALTA EFICIENCIA.	28
2.2. EFICIENCIA DE LOS MOTORES ELECTRICOS.	29
2.3. INCREMENTO DE LA EFICIENCIA DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS ASÍNCRONOS.	29
2.3.1. Pérdidas en el cobre del estator.	31

2.3.2. Pérdidas en el cobre del rotor.	32
2.3.3. Pérdidas en el núcleo.	33
2.3.4. Pérdidas por fricción y ventilación.	34
2.3.5. Pérdidas adicionales.	34
2.4. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LOS MOTORES DE ALTA EFICIENCIA.	34
2.5. NIVELES DE EFICIENCIA SEGÚN EPACT'92.	36
3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN ECONÓMICA.	39
3.1. MÉTODO DEL PRECIO MAS BAJO.	39
3.2. MÉTODO DE LA RECUPERACIÓN.	39
3.3. MÉTODO DEL TIEMPO DE LA RECUPERACIÓN.	40
3.4. MÉTODO DEL DESCUENTO.	41
3.4.1. Método de análisis de flujo de efectivo.	42
3.4.1.1. Ahorros por el uso de un motor de mayor eficiencia.	43
3.4.1.2. Gastos de instalación y mantenimiento.	45
3.4.1.3. Depreciación de la inversión incremental.	45
3.4.1.4. Beneficio antes de los impuestos.	45
3.4.1.5. Ganancia después de los impuestos.	45
3.4.1.6. Flujo total de efectivo no descontado.	46
3.4.1.7. Factor de descuento por interés.	46
3.4.1.8. Flujo total de efectivo no descontado.	46
3.4.2. Valor presente neto (VPN) y tasa interna de retorno (TIR).	49
4. AHORRO DE ENERGÍA CON MOTORES DE ALTA EFICIENCIA.	67
5. DAÑOS EN LOS MOTORES: REBOBINAR Ó REMPLAZAR?	78
5.1. CONDICIONES Y EDAD DEL MOTOR.	79
5.2. TIPO Y APLICACIÓN DEL MOTOR.	81
5.3. ESPECIFICACIONES DEL MOTOR.	82
5.4. POSIBLES AHORROS DE ENERGÍA.	83
6. CONCLUSIONES.	88
BIBLIOGRAFÍA.	89

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig.1.1. Dimensiones básicas en la norma IEC.	12
Fig.1.2. Dimensiones básicas en la norma NEMA.	13
Fig.1.3. Formas constructivas normalizadas en la IEC.	14
Fig.1.4. Designaciones de norma NEMA.	16
Fig.1.5. Tiempo de vida del aislamiento.	20

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Comparación de los Frames en las normas NEMA e IEC.	15
Tabla 1.2. Significado del primer número característico (a).	17
Tabla 1.3. Significado del segundo número característico (b).	17
Tabla 1.4. Comparación de los tipos de protección.	18
Tabla 1.5. Relaciones de los KVA de arranque por la norma IEC.	21
Tabla 1.6. Relaciones de los KVA de arranque por la norma NEMA.	22
Tabla 1.7. Comparación del marcado de terminales.	25
Tabla 1.8. Comparación de las características de operación.	26
Tabla 1.9. Eficiencia mínima de motores.	27
Tabla 2.1. Distribución promedio de las pérdidas en la norma NEMA.	30
Tabla 2.2. Comparación entre las características operacionales.	35
Tabla 2.3. Niveles de eficiencia prescritas en la EPACT'92.	37
Tabla 2.4. Eficiencia a plena carga de los motores de diseño NEMA E.	38
Tabla 5.1. Eficiencia nominal relativa de motores TEFC a 1800 RPM.	80
Tabla 5.2. Eficiencia de los motores a 3600 RPM.	87



## RESUMEN

El siguiente documento versa sobre la mejoría en los procesos de producción, utilizando motores de eficiencia energética en la empresa productora de papeles PROPAL S.A.

Siguiendo estudios comparativos de los motores estándar y los motores de alta eficiencia en cuanto a costo y ahorro de energía se llega a la conclusión de que es útil hacer un cambio gradual de los motores estándar a motores de alta eficiencia.

Este proyecto se realizó en el área de pulpa de planta uno PROPAL S.A., ya que es el área con mayor cantidad de motores en producción de toda la planta y por ende la más crítica.

Inicialmente se analizó todo el historial de cada motor para tener idea del estado en el cual se encontraban los motores antiguos y así poder formular que beneficios se podrían obtener con el cambio por los motores de alta eficiencia.

Con las normalizaciones ya existentes se conoció el funcionamiento ideal de los motores trifásicos de inducción con sus diferentes características lo que nos ayuda a la óptima selección del motor apropiado para cada requerimiento.

Se hace un análisis económico por medio de un software de ahorro de energía diseñado por los estudiantes de ingeniería eléctrica<sup>1</sup>, construido a través de las formulaciones de evaluación económica en este campo.

## INTRODUCCION

El sector industrial a nivel mundial es el gran consumidor de la energía que actualmente se genera, pero los recursos energéticos a diario se agotan irremediablemente, por esto, nace la preocupación de buscar un medio por el cual se trate de ahorrar un poco esta energía utilizándola adecuadamente.

La reducción de los costos asociados con el consumo de energía eléctrica y con las inversiones capitales en los equipos eléctricos utilizados en las instalaciones industriales, resulta imprescindible en la situación actual de la economía colombiana.

El alto consumo de energía en una planta industrial requiere de la selección correcta de los motores eléctricos para una reducción de este consumo de energía y algo muy favorable con respecto a esto son los motores de alta eficiencia ya que tienen unas características especiales y adecuadas para cada proceso, también, si trabajan con sus datos nominales tendrán un buen funcionamiento y un consumo de energía menor que el motor con una eficiencia baja y sus costos de reparación desaparecerían ya que están garantizados para un buen funcionamiento durante sus primeros cinco años si el equipo esta debidamente instalado y protegido.

Teóricamente se informa el funcionamiento adecuado de los motores, con los dos tipos de normas existentes para su estandarización como lo son la norma NEMA (National Electrical Manufacturers Association) la cual es de origen Norte Americano y la norma I.E.C.(International electrotecnical Comission) de origen Europeo. Estas normas especifican las dimensiones y características de los

motores lo cual nos facilita la elección de un motor para cada utilidad, garantizando así la vida útil del motor ya que para esto de debe haber seleccionado muy bien su potencia, el tipo y área de trabajo a la cual va ha estar expuesto el motor.

Como una herramienta útil, se hace imprescindible el manejo de programas de sistemas que faciliten el cálculo de los costos de optimización y tiempos de recuperación de inversiones, con el fin de verificar la viabilidad financiera de un proyecto en el cual se pretenda implementar un programa de ahorro de energía en la industria en todos sus estándares de producción.

## 1. CARACTERÍSTICAS NORMALIZADAS DE LOS MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN

Las empresas fabricantes de motores eléctricos deben regirse por normas de estandarización para así poder participar del mercado mundial, ya que estas normas establecen especificaciones bajo las cuales se deben fabricar los motores eléctricos. Las normas usadas son la I.E.C.(International Electrotechnical Comission) o la norma NEMA (National Electrical Manufacturers Association).

### 1.1 *Tamaño de la carcasa, envoltura o frame*

Las normas asocian a cada tamaño de la carcasa una determinada potencia. Los tamaños o frames se especifican mediante una serie de letras y números que vienen determinados por las dimensiones del motor.

#### 1.1.1. Denominación del frame en la norma IEC

La norma IEC especifica el frame o tamaño de un motor eléctrico de inducción de tensión menor a 600V, por una serie de números seguida de una letra, así:

Tamaño IEC: (Serie de números) (letra)

Ejemplo: 132M

Tanto los números como la letras tienen una relación directa sobre las dimensiones del motor (Fig. 1.1.). Véase Norma IEC publicación 72.

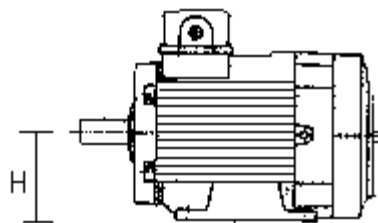
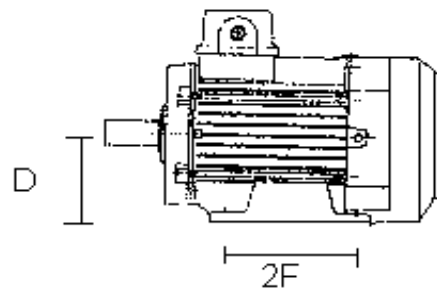


Fig. 1.1. Dimensiones básicas en la Norma IEC, publicación 72.

La serie de números indica la altura  $H$  desde el centro del eje del motor hasta la base en milímetros (mm). La letra indica el diámetro y la longitud de la carcasa y puede ser: S (carcasa corta), M (carcasa intermedia) y L (carcasa larga).

### 1.1.2. Denominación del frame en la norma NEMA

En las Normas NEMA la serie de números y letras que designan el frame se



generan de la siguiente forma: (Fig.1.2)

Fig. 1.2. Dimensiones básicas en la Norma NEMA.

La serie de números siempre estaría formada por tres o cuatro números; Los dos primeros números de la serie se forman al multiplicar por cuatro la distancia  $D$  en pulgadas; mientras el tercer y cuarto número se obtiene de una tabla (MG1 - 1978) a la cual se ingresa con la altura  $D$  y la distancia " $2F$ " ambas en pulgadas. Por otro lado la letra que sigue e indica el tipo del motor, el montaje, etc. Así por ejemplo:

- Tipo C, maquina de montaje frontal.
- Tipo D, montaje de brida frontal.
- Tipo E, dimensiones en el extremo de eje, para motores elevadores en carcasa grande, como la carcasa 326u.
- Tipo JM, motores de montaje frontal con acople cerrado, motor pump, posee rodamientos antifricción.
- Tipo S, eje corto normalizado para conexión directa.
- Tipo T, designa un motor de uso general.

- Tipo U, utilizado para designar carcasas cuyas dimensiones fueron establecidas.
- Tipo V, montaje vertical solamente.
- Tipo X, motores de grúa, rotor con surcos con doble extremo de eje.
- Tipo Y, dimensiones especiales de montaje, el diagrama de las dimensiones será provisto por el constructor.
- Tipo Z, todas las dimensiones especiales de montaje son normalizadas, excepto la extensión del eje, también se usa para maquinas de doble extensión de eje.

Se presentara una comparación de los FRAMES, NEMA e IEC en la tabla 1.1

### 1.2 Tipo de construcción y tipo de montaje.

Las normas constructivas indican la manera como ira instalado al motor y están normalizadas en la publicación No. 34 - 7 (IEC). Las formas constructivas normalizadas se muestran en la figura. 1.3.

Carcasa con pies y dos platillos de cojinete		Carcasa sin pies, con brida de sujecion en el platillo de cojinete del lado de accio.	Carcasa sin pies con brida de sujecion en el platillo de cojinete del lado contrario	Carcasa sin pies, sin platillo de cojinete en el lado del accionamiento	Platillo de cojinete con brida en el lado del accionamiento.	Formas de construccion combinadas.
B3	B8	B5	V2	B9	B10	B3/B5
B6	V5	V1	V4	V8	V10	B3/B9
B7	V6	V3		V9		

Figura 1.3 Formas constructivas normalizadas en la Norma IEC.

Tabla 1.1 Comparación de los Frames en las normas NEMA e IEC

TAMAÑO FRAME.		D		2E		2F		BA		H	
IEC	NEMA	IEC	NEMA	IEC	NEMA	IEC	NEMA	IEC	NEMA	IEC	NEMA
90S	143	90	88.9	140	139.7	100	101.6	56	57.2	10	8.6
90L	145	90	88.0	140	139.7	125	127.0	56	57.2	10	8.6
112S	182	112	114.3	190	190.5	114	114.3	70	69.9	12	10.4
112M	184	112	114.3	190	190.5	140	139.7	70	69.9	12	10.4
132S	213	132	133.4	216	215.9	140	139.7	89	88.9	12	10.4
132M	215	132	133.4	216	215.9	178	177.8	89	88.9	12	10.4
160M	254	160	158.8	254	254.0	210	209.6	108	108.0	15	13.5
160L	256	160	158.8	254	254.0	254	254.0	108	108.0	15	13.5
180M	264	180	177.8	279	279.4	241	241.3	121	120.6	15	13.5
180L	286	180	177.8	279	279.4	279	279.4	121	120.6	15	13.5
200M	324	200	203.2	318	317.5	267	266.7	133	133.4	19	16.8
200L	326	200	203.2	318	317.5	305	304.8	133	133.4	19	16.8
225S	364	225	228.6	356	355.6	266	285.8	149	149.4	19	16.8
225M	365	225	228.6	356	355.6	311	311.2	149	149.4	19	16.8
250S	404	250	254.0	406	406.4	311	311.2	168	168.1	24	20.6
250M	405	250	254.0	406	406.4	349	349.2	168	168.1	24	20.6
280S	444	280	279.4	457	457.2	368	368.3	190	190.5	24	20.6
280M	444	280	279.4	457	457.2	419	419.1	190	190.5	24	20.6
315S	504	315	317.5	508	508.0	406	406.4	216	215.9	28	
315M	505	315	317.5	508	508.2	457	457.2	216	215.9	28	
355S	585	355	368.3	610	584.2	500	508.0	254	254.0	28	
355M	586	355	368.3	610	584.2	560	558.8	254	254.0	28	
400S	684	400	431.8	686	685.8	560	558.8	280	292.1	35	
400M	685	400	431.8	686	685.8	630	635.0	280	292.1	35	

La norma NEMA clasifica los tipos constructivos en la publicación MG 1 en el capítulo 4.03. En la Fig. 1.4 se muestra la designación de la forma NEMA.

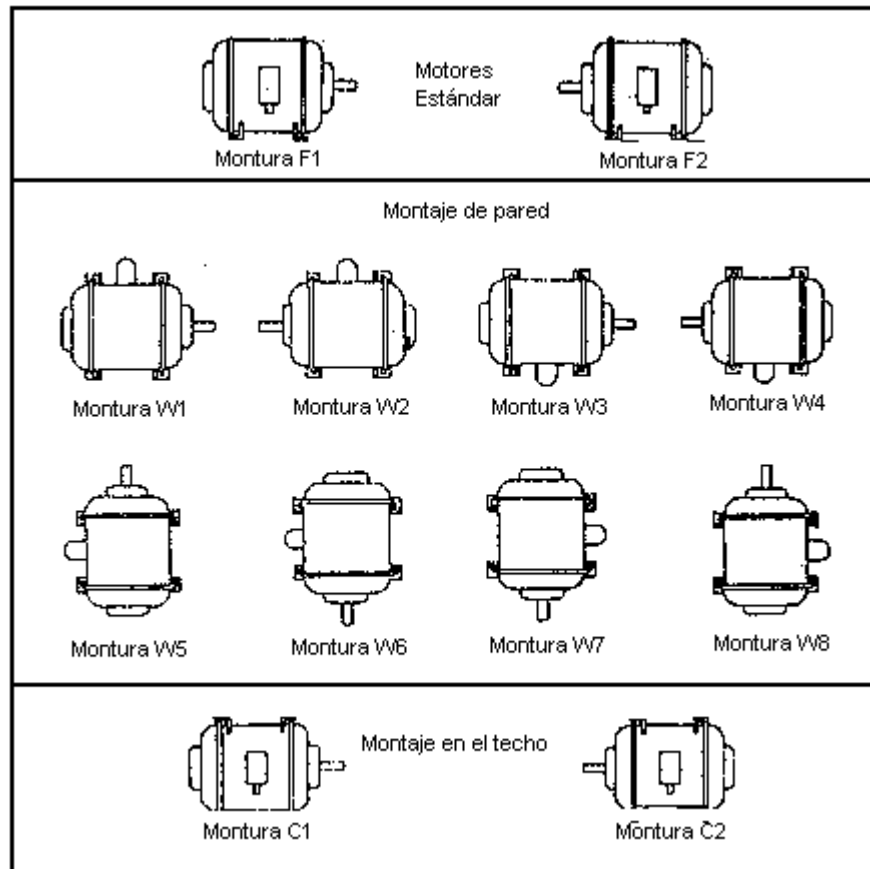


Figura 1.4 Designaciones de la norma NEMA

### 1.3 Tipo de protección

El tipo de protección indica el grado de protección que la carcasa brinda al motor contra los elementos del medio ambiente.

La norma IEC en su Pub. 34 - 5 trata sobre este tema; clasificando al protección del motor mediante el símbolo IP seguido de dos números; así:

Grado de protección: IP a b

El primer número "a" da el grado de protección contra cuerpos sólidos extraños y el segundo número "b" da el grado de protección contra el agua.



Los números "a" y "b" varían de 1 hasta 8 y su significado se encuentra en las tablas 1.2 y 1.3

Tabla 1.2 significado del primer número característico (a)

Primer número Característico	Protección contra el contacto de las personas con las partes vivas o en movimiento dentro de carcasa y protección de la máquina contra penetración de partículas sólidas.
0	Máquina no protegida.
1	Máquina protegida contra partículas sólidas diámetro mayor de 50 mm.
2	Máquina protegida contra partículas sólidas diámetro mayor de 12 mm.
3	Máquina protegida contra partículas sólidas diámetro mayor de 2.5 mm.
4	Máquina protegida contra partículas sólidas diámetro mayor de 1 mm.
5	Máquina protegida contra el polvo.
6	Máquina protegida contra la entrada de polvo.

Tabla 1.3 Significado del segundo número característico (b)

Segundo número Característico	Protección contra el ingreso de agua
0	Máquina no protegida
1	Caída de gotas en forma vertical.
2	Caída de gotas que hacen hasta un ángulo de 15 grados con la vertical.
3	Rociado de agua hasta un ángulo de 60 grados con la vertical.
4	Rociado de agua en cualquier dirección.
5	Chorro de agua en cualquier dirección.
6	Inmersiones pasajeras.
7	Protegida contra inundación pasajera.
8	Protegida contra el trabajo bajo agua por un tiempo limitado.

Las normas NEMA por abreviaturas el grado de protección, estas designaciones se encuentran en la norma MG 1-1993.

En la tabla 1.4 se comparan ambas normas.

Tabla 1.4 Comparación de los tipos de protección de carcasa NEMA e IEC

NEMA	IEC
Open	IP 00
Drip-proof	IP 12
Drip-proof, Guarded	IP 22
Waterproof	IP 46
Totally-enclosed, Guarded	IP 44
Weather-protected, Type I	IPW 23
Weather-protected, Type II	IPW 24

#### 1.4 **Clase térmica de los aislamientos.**

La norma IEC en la publicación 85 ha clasificado los materiales aislantes en clases térmicas de aislamiento, cada clase térmica es definida por una temperatura que es el límite superior del rango utilizable del aislamiento en condiciones normales de operación para su vida satisfactoria. Si este límite es excedido en 10°C el tiempo de vida del aislamiento es reducida a la mitad. El tiempo de vida del aislamiento se ilustrara en la figura 1.5.

Las normas NEMA usan la misma designación de la norma IEC para especificar los aislamientos.

#### 1.5 **Característica par-velocidad.**

Las características del par son tratadas por las normas IEC en su publicación 34-12, distinguiendo dos tipos de diseño: el diseño N (que corresponde a un motor

trifásico de uso general) y el motor de diseño H (corresponde a un motor trifásico de alto par de arranque).

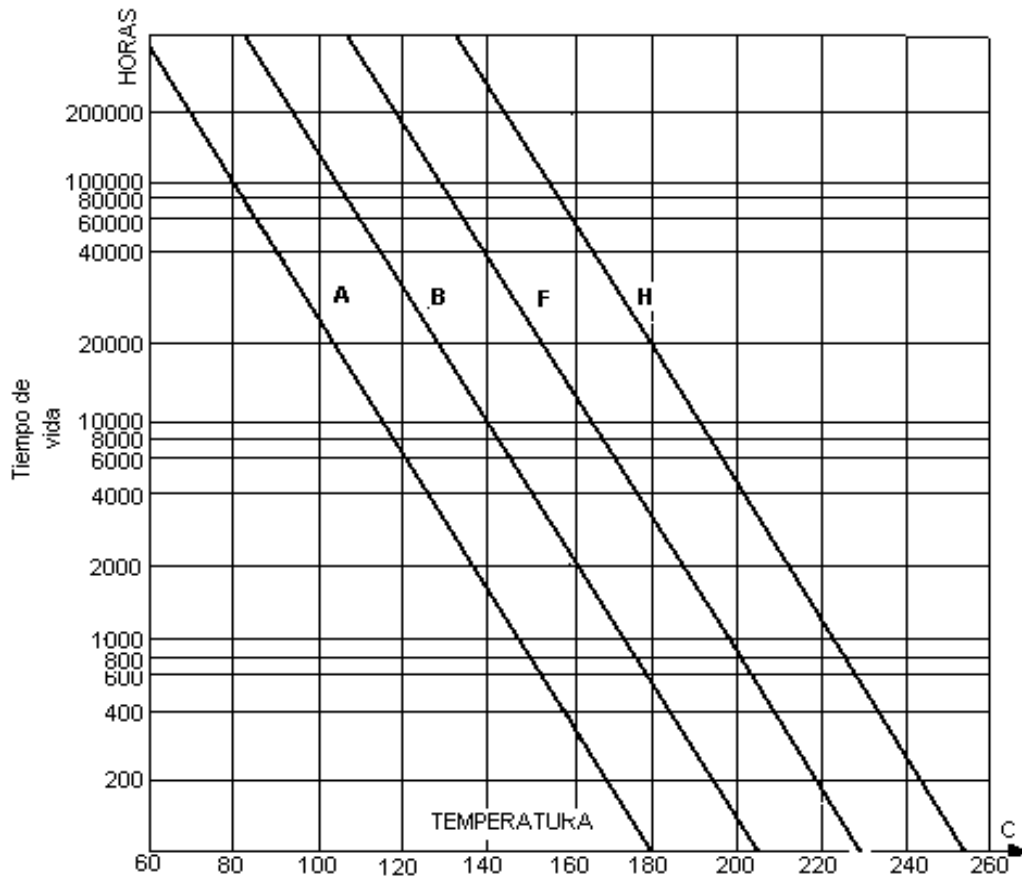


Figura 1.5 Tiempo de vida del aislamiento

Las normas NEMA en su publicación MG1-1978 parte 12, clasifican los motores según el diseño de la jaula rotor de la siguiente manera:

#### Motor diseño NEMA A

Es un motor de inducción con rotor tipo jaula de ardilla, diseñado con características de par de corriente de arranque que exceden los valores correspondientes al diseño NEMA B, son muy usados para aplicaciones especiales donde se requiere un par máximo mayor que el normal para satisfacer los requerimientos de sobrecarga de corta duración.

Estos motores también son aplicados a cargas que requieren deslizamientos muy bajos del orden del 1% o menos.

#### Motor diseño NEMA B

Son motores con rotor tipo jaula de ardilla diseñadas con características de par y corriente de arranque normales, así como un bajo deslizamiento de carga de aproximadamente del 4%. En carga genera en el rango de 1 a 125 HP el deslizamiento a plena carga es de aproximadamente del 3%.

Este tipo de motor proporciona un arranque y una aceleración suave para la mayoría de las cargas y también puede resistir temporalmente picos de carga sin detenerse.

#### Motor diseño NEMA C

Son motores de inducción con rotor de doble jaula de ardilla, que desarrollan un alto par de arranque y por eso son usados para carga de arranque pesado. Estos motores tienen un deslizamiento nominal menor que el 5%.

#### Motor diseño NEMA D

Este motor combina un alto par de arranque con un alto deslizamiento nominal. Generalmente se presentan dos tipos de diseño, uno con deslizamiento nominal de 5 a 8% y otros con deslizamiento nominal de 8 a 13%, cuando el deslizamiento nominal es mayor del 13% se denominan motores de alto deslizamiento o un muy alto deslizamiento (Ultra-High-Slip). El par de arranque es generalmente de 275 a 300% el par nominal pero para aplicaciones especiales puede ser más alto. Estos motores son recomendables para cargas cíclicas y para cargas de corta duración con frecuentes arranques y paradas.

#### Motor diseño NEMA E

Son motores de inducción con rotor tipo jaula de ardilla de alta eficiencia, presentan un par de arranque bajo entre 75-190%, una corriente de arranque alta

entre 800 y 1000% así como un bajo deslizamiento de carga de aproximadamente entre 0.5 y 3%.

### **1.6 Corriente de arranque. KVA de arranque.**

Las normas IEC en la publicación 34-12 dan los valores de KVA de arranque por KW de potencia (KVA/KW), relación que varía de acuerdo a la potencia del motor. En la tabla 1.5 se dan las relaciones de corriente de arranque del motor.

Tabla 1.5 Relaciones KVA arranque por KW norma IEC

Rango de potencia (KW)	(KVA arranque/KW)
0.4 - 6.3	13
6.3 - 25.0	12
25.0 - 100.0	11
100.0 - 630.0	10

Las normas MG1-1978, especifican la relación KVA de arranque por HP (KVA/HP), mediante letras de código como se muestra en la tabla 1.6. Las letras de código permiten estimar con buena aproximación la corriente de arranque del motor.

### **1.7 Regímenes de operación.**

Las normas IEC definen en su publicación 34 los regímenes de operación o tipos de servicio a que puede estar sometido el motor, clasificando las innumerables formas en que puede operar el motor en ocho tipos:

#### Servicio Continuo (S1)

Es un servicio tipo a carga constante de una duración suficiente para que se alcance el equilibrio térmico.

### Servicio Temporal (S2)

Es un servicio tipo a carga constante durante un tiempo determinado, menor que el requerido para alcanzar el equilibrio térmico, seguido de un tiempo de reposo de duración suficiente para restablecer la igual de temperatura del medio refrigerante.

Tabla 1.6 Relaciones KVA arranque por HP. Norma NEMA.

Letra de código	(KVA arranque/HP)
A	0.10 - 3.14
B	3.15 - 3.54
C	3.55 - 3.99
D	4.00 - 4.49
E	4.50 - 4.99
F	5.00 - 5.59
G	5.60 - 6.29
H	6.30 - 7.09
J	7.10 - 7.99
K	8.00 - 8.99
L	9.00 - 9.99
M	10.00 - 11.19
N	11.20 - 12.49
P	12.50 - 13.99
R	14.00 - 15.99
S	16.00 - 17.99
T	18.00 - 19.99
U	20.00 - 22.39
V	22.40 - y más

### Servicio Intermitente (S3)

Es un servicio tipo constituido por una secuencia de ciclos idénticos cada uno de los cuales esta compuesto de un tiempo de funcionamiento a carga constante y de

un tiempo de reposo, siendo dichos tiempos suficientemente cortos para que el equilibrio térmico no pueda ser alcanzado en el transcurso de un ciclo.

#### Servicio Intermitente con Arranque (S4)

Es un servicio tipo constituido por una secuencia de ciclos idénticos cada uno de los cuales esta compuesto de un tiempo de arranque, un tiempo de funcionamiento a carga constante y de un tiempo de reposo. Los tiempos de funcionamiento y de reposo son suficientemente cortos para que el equilibrio térmico no pueda ser alcanzado en el transcurso de un ciclo.

#### Servicio Intermitente con Arranque y Frenado (S5)

Es un servicio tipo constituido por una frecuencia de ciclos idénticos cada uno de los cuales esta compuesto de un tiempo de arranque, un tiempo de frecuencia y un tiempo de reposo.

Los tiempos de funcionamiento y de reposo son suficientemente cortos para que el equilibrio térmico no pueda ser alcanzado en el transcurso de un ciclo. El frenado es rápido y realizado con procedimiento eléctrico.

#### Servicio no Interrumpido con carga Intermitente (S6)

Es un servicio tipo constituido por una secuencia de ciclos idénticos cada uno de los cuales esta compuesto de un tiempo de funcionamiento a carga constante y de un tiempo de funcionamiento en vacío, siendo dichos tiempos suficientemente cortos para que el equilibrio térmico no pueda ser alcanzado en el transcurso de un ciclo. No existen tiempos de reposo, el motor permanece prácticamente siempre bajo tensión.

#### Servicio no Interrumpido con arranque y frenado (S7)

Es un servicio tipo constituido por una secuencia de ciclos idénticos cada uno de los cuales esta compuesto de un tiempo de arranque, tiempo de funcionamiento a carga constante y un tiempo de frenado eléctrico. Los tiempos de funcionamiento son suficientemente cortos para que el equilibrio térmico no pueda

ser alcanzado en el transcurso de un ciclo. No existen tiempos de reposo, el motor permanece prácticamente siempre bajo tensión.

#### Servicio no Interrumpido con cambio de velocidad (S8)

Es un servicio tipo constituido por una secuencia de ciclos idénticos cada uno de los cuales esta compuesto de un tiempo de funcionamiento a carga constante correspondiente a una velocidad de rotación determinado seguido inmediatamente de un tiempo de funcionamiento a otra carga correspondiente a una velocidad de rotación diferente, realizada, por ejemplo: por cambio de polaridad en el caso de los motores de inducción. Los tiempos de funcionamiento son suficientemente cortos para que el equilibrio térmico no pueda ser alcanzado en el transcurso de un ciclo. No existen tiempos de reposo, el motor permanece siempre bajo tensión.

#### **1.8 Marcado de terminales y dirección de rotación.**

El marcado de los terminales de los motores asíncronos trifásicos esta normalizado por la norma IEC en su publicación 34-8 y por las normas NEMA en la sección MG 1.2.61. Así mismo el sentido de rotación es el que se observa frente al eje del motor. Existe una equivalencia en el marcado de los terminales de ambas normas, pues mientras las normas IEC usan letras, las NEMA usan números, la correspondencia es:

U1⇒T1	U2⇒T4
V1⇒T2	V2⇒T5
W1⇒T3	W2⇒T6



Tabla 1.7 Comparación entre el marcado de los terminales para el sector de las normas NEMA e IEC. Motores de una velocidad.

	IEC	NEMA
<u>Marcado de terminales del estator</u>		
3 terminales	U, V, W	T1, T2, T3
4 terminales	U, V, W, N	T1, T2, T3, T0
6 terminales	U1-U2, V1-V2, W1-W2	T1-T4, T2-T5, T3-T6
12 terminales	U1-U2, U5-U6 V1-V2, V5-V6 W1-W2, W5-W6	T1-T4, T7-T10 T2-T5, T8-T11 T3-T6, T9-T12
<u>Dirección de rotación</u>		
Secuencia de fase: U, V, W (IEC)	Sentido de las agujas del reloj visto desde el Eje	no definido en el motor de inducción.
Secuencia de fase: 1, 2, 3 (NEMA).		

### 1.9 Comparación de las características de operación.

Los motores eléctricos están fabricados para ser operados en determinadas condiciones eléctricas de la red de operación.

Estas características son diferentes en cuanto a los marcos de tolerancia entre la norma NEMA e IEC. La tabla 1.8 muestra una comparación de las características de las dos normas.

### 1.10 Eficiencia Nominal

La eficiencia es uno de los factores claves que determina costo de operación. La eficiencia varía significativamente de acuerdo con el diseño del fabricante, por lo que debe ser considerada como una parte clave de las especificaciones del motor. La norma IEC no presenta en ninguna de sus publicaciones la eficiencia de los motores de inducción.

Tabla 1.8 Comparación de las características de operación normas NEMA e IEC.

Características	IEC	NEMA
<b><u>FACTOR DE SERVICIO</u></b>		
Propósito general (<200 HP, Open)	1.0	1.15
Todos los demás	1.0	1.0
<b><u>TENSION APLICADA</u></b>		
Max. Variación de voltaje (1)	±5%	±10%
Max. Variación de frecuencia	(2)	- 5%
Max. Desviación de la forma de onda	5%	10%
Max. Voltaje de secuencia negativa	2%	
Max. Voltaje de secuencia cero	2%	
<b><u>CONDICIONES DE SERVICIO</u></b>		
Refrigerado por aire	≤40° C	≤40° C
Refrigerado por agua	≤25° C	≤30° C
Altura	1000 metros	1000 metros
<b><u>SOBRECARGA (TORQUE)</u></b>		
Inducción	≥160%	≥175%
<b><u>SOBREVELOCIDAD</u></b>		
Motor de Inducción ≤200 HP:		
a) ≥1201 r/min	20%	25%
b) ≤1200 r/min	20%	50%
Motor de inducción ≥250 HP		
a) ≥ 1801 r/min	20%	20%
b) ≤ 1800 r/min	20%	25%

La norma NEMA establece que la eficiencia de un motor es sacada a partir de las pruebas y mediciones de la potencia (entrada y salida) realizadas a un grupo de motores del mismo tipo. La eficiencia del motor se especifica en la placa de características del mismo.

En la tabla 1.9 se mostrarán los valores mínimos de eficiencia dados por la norma NEMA para motores diseño B.

Tabla 1.9 Eficiencia mínima motores diseño B.

HP	RANGO DE EFICIENCIA NOMINAL
1	68 – 78
1.5	68 – 80
2	72 – 81
3	74 – 83
4	78 -- 85
7.5	80 – 87
10	81 – 88
15	83 – 89
20	84 – 89
25	85 – 90
30	86 – 90.5
40	87 – 91.5
50	88 – 92
60	88.5 – 92
75	89.5 – 92.5
100	90 – 93
125	90.5 – 93
150	91.5 – 93.5
200	91.5 – 94
250	91.5 – 94.5

## 2. MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

El aumento de los costos de la energía eléctrica y las políticas sobre la conservación del medio ambiente hicieron crear normativas respecto al uso de la energía. Teniendo en cuenta que los motores eléctricos son los consumidores de la mayoría de la energía entregada por los generadores, surgió como una alternativa para que los motores de inducción a emplear sean de una eficiencia mayor que la normalmente especificada en la norma MG1. 1993.

### 2.1. *Características constructivas de los motores de alta eficiencia.*

Los motores de alta eficiencia son motores diseñados y construidos especial para operar con mínimas pérdidas o lo que es equivalente operar con mayor eficiencia. Para disminuir las pérdidas con estos motores tienen las siguientes características básicas:

- El estator se fabrica con ranuras grandes de tal forma que se pueda acomodar mayor cantidad de cobre, entonces la resistencia de la bobina será menor de lo normal. También el rotor se fabrica con ranuras grandes de tal forma que las barras del rotor sean gruesas y los anillos de la jaula también son más gruesos que lo normal.
- Las láminas magnéticas tienen bajas pérdidas watt/kg. Y son muy delgadas (0.3 mm) para disminuir las pérdidas por corrientes parásitas.
- La densidad de flujo magnético de diseño es baja para disminuir las pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas. Para compensar este efecto en la potencia los paquetes magnéticos son más largos que los motores normales.

Una característica contra productiva de los motores eléctricos de alta eficiencia es que estos motores tienen una alta corriente de arranque, lo cual debe ser considerado cuando se especifican las protecciones. Adicionalmente presentan un factor de potencia menor que los motores normales.

## 2.2 Eficiencia de los motores eléctricos.

Puede decirse que la eficiencia de un motor eléctrico es la medida de la capacidad que tiene el motor de convertir la energía eléctrica en energía mecánica. La potencia eléctrica correspondiente medida en W entra por los terminales del motor y la potencia mecánica medida en W o HP sale por el eje. Por lo tanto, la única potencia absorbida por el motor eléctrico es la correspondiente a las pérdidas que ocurren inevitablemente en el proceso de conversión de la energía eléctrica en energía mecánica.

La eficiencia del motor puede expresarse como:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{potencia mecánica de salida}}{\text{potencia eléctrica de entrada}} * 100 \quad \text{y como}$$

Potencia mecánica de salida = potencia eléctrica de entrada – pérdidas

ó :

Potencia eléctrica de entrada = potencia mecánica de salida + pérdidas

Se tiene que:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{potencia mecánica de salida}}{\text{potencia mecánica de salida} + \text{pérdidas}} * 100$$

ó :

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{potencia eléctrica de entrada} - \text{pérdidas}}{\text{potencia eléctrica de entrada}} * 100$$

## 2.3 Incremento de la eficiencia en los motores eléctricos asíncronos

El incremento de la eficiencia de los motores asíncronos de jaula de ardilla se logra con la reducción de sus pérdidas, que se pueden clasificar en 5 áreas:

Pérdidas en el cobre del estator, pérdidas en el cobre del rotor, pérdidas en el núcleo, pérdidas por fricción y ventilación y pérdidas adicionales. La forma en que

se distribuyen relativamente estas pérdidas depende del tipo y el tamaño del motor.

En un sentido muy general, la distribución promedio de las pérdidas para los motores Diseño B del estándar NEMA, se puede resumir tal como lo muestra la tabla 2.1

Tabla 2.1. Distribución promedio de las pérdidas en motores diseño B del estándar NEMA

<b>Categoría de las pérdidas</b>	<b>Por ciento del total de las pérdidas</b>
Pérdidas en el cobre del estator	37
Pérdidas en el cobre del rotor	18
Pérdidas en el núcleo	20
Pérdidas por fricción y ventilación	9
Pérdidas adicionales	16
Pérdidas totales	100

Las pérdidas pueden reducirse hasta un 50% a través de uso de mejores materiales, optimizando la geometría, ajustando mejor el motor con la carga mejorando el proceso de fabricación.

Cuando se intenta maximizar la eficiencia de un motor debe considerarse que esta puede incrementarse por dos métodos diferentes. Una posibilidad es seguir el camino en el cual la mejoría se logra fundamentalmente a base de adicionar materiales y empleando tecnologías más costosas. La otra posibilidad es optimizar el diseño del motor utilizando métodos de optimización. La diferencia entre los dos enfoques es que en el primer caso la mejoría se alcanza modificando un diseño existente, mientras que en el segundo caso se obtienen diseños totalmente nuevos.

En la primera variante el incremento de los materiales implica fundamentalmente aumentar el volumen del material activo (acero electrotécnico y material conductor de la corriente) y las mejoras tecnológicas significan emplear aceros

electrotécnicos de la mejor calidad, utilizar un mayor factor de llenado en las ranuras, incrementar el número de ranuras del estator y del rotor, etc.

Resulta importante que el logro de una mayor eficiencia, especialmente cuando se parte de valores elevados, se alcance fundamentalmente (mientras en mayor medida sea, mejor) por la vía de optimización del diseño.

A continuación se realizan consideraciones sobre algunas de las pérdidas y la forma de reducirlas.

### 2.3.1. Pérdidas de Cobre en el Estator

Las pérdidas de cobre ( $I^2 R$  en los devanados del motor) tiene dos componentes: las del estator y las del rotor.

Las pérdidas de cobre en el estator son una función de la corriente que fluye en el devanado del estator y de la resistencia de ese devanado. La corriente de línea en el estator puede expresarse como:

$$\text{Corriente de línea} = \frac{\text{potencia eléctrica de entrada}}{\sqrt{3} * \text{voltaje de línea} * \text{factor de potencia}}$$

Cuando se desea mejorar el comportamiento del motor, es importante reconocer la interdependencia entre la eficiencia y el factor de potencia. Como lo muestra la siguiente relación:

$$\text{Factor de potencia} = \frac{\text{potencia mecánica de salida}}{\sqrt{3} * \text{voltaje de línea} * \text{corriente de línea} * \text{eficiencia}}$$

Por lo tanto si se incrementa la eficiencia, el factor de potencia tendera a decrecer. Para que el factor de potencia permanezca constante, la corriente del estator debe reducirse en proporción al aumento de la eficiencia. Si se pretende que el factor de potencia mejore, entonces la corriente debe disminuir más que lo que la eficiencia aumente.

Desde el punto de vista del diseño, esto es difícil de lograr debido a que hay que cumplir otros requerimientos operacionales como el momento máximo.

Las pérdidas del estator serán inversamente proporcionales al cuadrado de la eficiencia y del factor de potencia. Además, son directamente proporcionales a la resistencia del devanado del estator.

Para una configuración dada, la resistencia del devanado es inversamente proporcional al área del cobre, mientras más área de cobre, menor serán las pérdidas.

El aumento del área de cobre puede lograrse mediante la colocación en las ranuras de conductores de más sección o a través de un incremento de las dimensiones de ranuras.

Una variación en la configuración del devanado puede conducir también a una reducción de estas pérdidas, si se logra disminuir con ello la longitud media de las bobinas. Ese es el caso en que se logra reducir la longitud de las cabezas de bobina.

### 2.3.2. Pérdidas de Cobre en el Rotor

Las pérdidas de cobre en el rotor se pueden reducir incrementando la cantidad de material conductor (en las barras y los anillos), utilizando materiales de mayor conductividad, así como aumentando el flujo total que atraviesa el entrehierro. La magnitud de estos cambios está limitada por el momento mínimo de arranque requerido, la corriente máxima de arranque permisible y el factor de potencia mínimo aceptable.

### 2.3.3. Pérdidas en el Núcleo

La inducción en la estructura ferromagnética es un factor importante que determina este tipo de pérdidas. Las pérdidas de núcleo se pueden reducir incrementando la longitud de la estructura ferromagnética y, como consecuencia, disminuyendo la inducción. Esto reduce las pérdidas por unidad de peso, pero debido a que el peso total aumenta, la mejoría en cuanto a pérdidas no es proporcional a la reducción unitaria de estas. La disminución en la carga magnética también reduce la corriente de magnetización, y esto influye positivamente en el factor de potencia.



También se pueden reducir las pérdidas de núcleo por medio de la utilización de laminaciones más finas.

El tipo de acero utilizado depende de las capacidades del procesamiento del fabricante. El acero laminado en frío, para poder desarrollar las propiedades eléctricas, requiere de un adecuado tratamiento después de troquelado, mientras que los aceros al silicio están disponibles como un material completamente procesado.

Una desventaja del acero con alto contenido de silicio es que, con inducciones altas, la permeabilidad puede ser más baja, con el correspondiente incremento de corriente de magnetización requerida. Esto tiende a reducir el factor de potencia del motor.

#### 2.3.4. Pérdidas por Fricción y Ventilación

Las pérdidas por fricción y ventilación son debidas a la fricción de los rodamientos y a las pérdidas por batimiento con el aire en el ventilador y en otros elementos del motor.

La fricción de los rodamientos es una función de las dimensiones de este, de la velocidad, del tipo de rodamiento, de la carga y de la lubricación usada. Estas pérdidas quedan relativamente fijadas para un tipo de diseño y, debido a que constituyen un porcentaje pequeño de las pérdidas totales del motor, los cambios que se pueden hacer en el diseño para reducirlas no afectan significativamente la eficiencia del motor.

La mayor parte de las pérdidas por ventilación están asociadas a los ventiladores y a la cantidad de ventilación requerida para extraer el calor generado por otras pérdidas en el motor, tal como las pérdidas de cobre, las de núcleo y las adicionales. Según se reducen las pérdidas que generan calor, es posible reducir el volumen de aire requerido para removerlas y, de esta manera, se pueden reducir las pérdidas por ventilación.

### 2.3.5. Pérdidas Adicionales

Las pérdidas adicionales son pérdidas residuales en el motor, que son difíciles de determinar por medio de mediciones directas o de cálculos. Estas pérdidas están relacionadas con la carga y generalmente se supone que varían con el cuadrado del momento de salida. Mediante un diseño cuidadoso, se pueden minimizar algunos de los factores que contribuyen a la magnitud de las pérdidas adicionales. Aquellas pérdidas que están asociadas al procesamiento, tal como las condiciones superficiales del rotor, se pueden minimizar a través de un control cuidadoso del proceso de fabricación.

### **2.4. *Ventajas y limitaciones de los motores de alta eficiencia.***

En la mayoría de los casos (aunque esto depende de cada diseño específico) además de la reducción de las pérdidas y el consecuente incremento de la eficiencia, se puede considerar las siguientes ventajas y limitaciones al trabajar con estos motores:

- Estos motores tienden a operar a una menor temperatura. Esto aumenta su plazo de servicio. Correspondientemente, el costo total del motor para el usuario, disminuye.
- Los motores de alta eficiencia poseen generalmente menos deslizamiento (debido a los cambios que se producen en los parámetros del rotor) que los motores de eficiencia estándar. La mayor velocidad puede ser ventajosa en muchos casos. Sin embargo, el incremento de la carga, que se produce sobre todo cuando se accionan ventiladores o bombas centrífugas, debe valorarse en cada situación.
- El momento de arranque y el momento máximo son en algunos diseños ligeramente mayores y en otros ligeramente menores, situación que resulta necesaria analizar casuísticamente en cada aplicación. Cuando son mayores, las condiciones de operación son más favorables si el motor trabaja a voltajes inferiores al nominal.
- La corriente de arranque suele ser mayor. Esto puede provocar que se sobrepasen los límites máximos de caída de voltaje en la red. También puede influir

en la capacidad de los equipos de maniobra, aunque muchas veces se puede operar con los mismos que se usan con los motores estándar y en ocasiones solo resulta necesario el cambio de los elementos térmicos.

- La corriente transitoria en el arranque, tiene su máximo en el primer medio ciclo, se incrementa debido a la tendencia a un mayor valor de relación X/R en el motor de alta eficiencia.

Aunque esta corriente no afecta el tamaño del arrancador, si afecta el disparo instantáneo del disyuntor del motor, por lo que hay que buscar un compromiso entre coordinación del disyuntor y los disparos en el arranque.

- El factor de potencia de los motores de alta eficiencia ha presentado tradicionalmente una tendencia a ser inferior al correspondiente diseño estándar equivalente. En la tabla 2.2 se muestran los principales valores a plena carga de un motor de 10 HP diseño estándar y de uno de diseño de alta eficiencia del mismo tipo y fabricante. La contradicción entre el incremento de la eficiencia y la reducción del factor de potencia ha sido clásica para este tipo de motor. La regla para una cantidad dada de material activo (acero electrotécnico, cobre y aluminio) ha sido minimizar las perdidas y corregir el factor de potencia como un sistema.

Tabla. 2.2.Comparación entre las características operacionales a plena carga.10 HP, 1800 rpm, 230 V, abierto a prueba de goteo (ODP).

	<b>Diseño estándar</b>	<b>Diseño de alta eficiencia</b>
Eficiencia [%]	84.4	85.3
Factor de potencia [%]	82.7	78.5
Corriente nominal [A]	26.9	28
Corriente de arranque [A]	148	169
Incremento de temp. [°C]	72	66
Deslizamiento [%]	4.1	3.5

Cuando se va a decidir la compra de un motor de alta eficiencia que presente un factor de potencia menor que el que tendría su equivalente de eficiencia estándar, se deben considerar los costos asociados a la corrección del factor de potencia que habría que realizar mediante la instalación de bancos de condensadores u otros medios.

Al considerar las limitaciones técnicas que se han analizado aquí, debe tenerse en cuenta la necesidad económica del uso de motores de alta eficiencia. Se le ofrece al consumidor oportunidades para incrementar la eficiencia con una recuperación de la inversión en un tiempo razonable, aun si se debe efectuar algún tipo de inversión adicional.

La transición hacia niveles más altos de eficiencia, no compromete el comportamiento del motor. De hecho, debido a las pérdidas menores, existe en muchos casos la oportunidad de mejorar las características de operación y de incrementar la vida útil del motor.

## **2.5. Niveles de eficiencia según el EPACT'92. Norma NEMA**

El documento ENERGY POLICY ACT OF 1992 (EPACT'92), se expidió en el año de 1992, este da los nuevos niveles de eficiencia que deben cumplir los llamados " MOTORES DE ALTA EFICIENCIA ". Los niveles eficiencia nominal de estos motores, están definidos en la norma NEMA MG1- 12.59, y son aplicados a motores de 2, 4 y 6 polos desde una potencia de 1 hasta 200 HP, esta información se muestra en la tabla 2.3.

La norma NEMA adiciono un nuevo tipo de diseño rotor a sus anteriores diseños A, B, C, D. Se trata del diseño NEMA E, este es un motor de alta eficiencia cuya eficiencia nominal esta definida en la norma NEMA MG1-12-60, Estos valores son mostrados en la tabla 2.4.

Tabla 2.3. Niveles de eficiencia prescritas en la EPACT' 92

Potencia (HP)	Eficiencia Nominal					
	Motores abiertos protegidos (ODP)			Motores cerrados con ventilación forzada (TEFC)		
	6 Polos	4 Polos	2 Polos	6 Polos	4 Polos	2 Polos
1	80.0	82.5	---	80.0	82.5	75.5
1.5	84.0	84.0	82.5	85.5	84.0	82.5
2	85.5	84.0	84.0	86.5	84.0	84.0
3	86.5	86.5	84.0	87.5	87.5	85.5
5	87.5	87.5	85.5	87.5	87.5	87.5
7.5	88.5	88.5	87.5	89.5	89.5	88.5
10	90.2	89.5	88.5	89.5	89.5	89.5
15	90.2	91.0	89.5	90.2	91.0	90.2
20	91.0	91.0	90.2	90.2	91.0	90.2
25	91.7	91.7	91.0	91.7	92.4	91.0
30	92.4	92.4	91.0	91.7	92.4	91.0
40	93.0	93.0	91.7	93.0	93.0	91.7
50	93.0	93.0	92.4	93.0	93.0	92.4
60	93.6	93.6	93.0	93.6	93.6	93.0
75	93.6	94.1	93.0	93.6	94.1	93.0
100	94.1	94.1	93.0	94.1	94.5	93.6
125	94.1	94.5	93.6	94.1	94.5	94.5
150	94.5	95.0	93.6	95.0	95.0	94.5
200	94.5	95.0	94.5	95.0	95.0	95.0

Tabla 2.4. Eficiencia a plena carga de los motores diseño NEMA E

Potencia (HP)	2 Polos		4 Polos		6 Polos		8 Polos	
	$\eta$ nominal	$\eta$ mínima	$\eta$ nominal	$\eta$ mínima	$\eta$ nominal	$\eta$ mínima	$\eta$ nominal	$\eta$ mínima
0.75	---	---	---	---	82.5	80.0	---	---
1	---	---	86.5	84.0	84.0	81.5	78.5	75.5
1.5	86.5	84.0	87.5	85.5	86.5	84.0	82.5	80.0
2	87.5	85.5	87.5	85.5	88.5	86.5	86.5	84.0
3	88.5	86.5	88.5	86.5	89.5	87.5	88.5	86.5
5	90.2	88.5	89.5	87.5	90.2	88.5	89.5	87.5
7.5	91.0	89.5	90.2	88.5	91.7	90.2	89.5	87.5
10	91.0	89.5	91.0	89.5	92.4	91.0	91.0	89.5
15	91.7	90.2	92.4	91.0	92.4	91.0	91.0	89.5
20	92.4	91.0	93.0	91.7	92.4	91.0	91.7	90.2
25	93.0	91.7	93.6	92.4	93.6	92.4	91.7	90.2
30	93.6	92.4	94.1	93.0	93.6	92.4	92.4	91.0
40	94.1	93.0	94.5	93.6	94.1	93.0	92.4	91.0
50	94.5	93.6	95.0	94.1	94.1	93.0	93.0	91.7
60	94.5	93.6	95.0	94.1	95.0	94.1	93.0	91.7
75	94.5	93.6	95.4	94.5	95.0	94.1	93.6	92.4
100	95.0	94.1	95.4	94.5	94.5	94.5	93.6	92.4
125	95.4	94.5	95.8	95.0	95.4	94.5	94.5	93.6
150	95.8	95.0	95.8	95.0	95.8	95.0	94.5	93.6
200	96.2	95.4	96.5	95.4	96.2	95.4	95.0	94.1
250	96.2	95.4	96.2	95.4	96.2	95.4	95.4	94.5
300	96.2	95.4	96.2	95.4	96.2	95.4	---	---
350	96.5	95.8	96.5	95.8	96.5	95.8	---	---
400	96.5	95.8	96.5	95.8	---	---	---	---
450	96.5	95.8	96.8	96.2	---	---	---	---
500	96.8	96.2	96.8	96.2	---	---	---	---

### 3. METODOS DE EVALUACION ECONOMICA

Cuando se comparan económicamente dos motores de la misma capacidad pero de diferente eficiencia nominal, resulta necesario determinar los ahorros anuales generados por el uso del motor de mayor eficiencia.

Las eficiencias usadas para el cálculo deben corresponder con las del motor a las cargas específicas, debido a que la eficiencia varía con la carga.

Los métodos de cálculo de la eficiencia y de otros valores, deben corresponder con lo establecido por las normas. Cuando se comparan las eficiencias de motores de distintos fabricantes, hay que asegurarse de que las bases para determinarlas sean las mismas.

Hay dos métodos de evaluación económica usados comúnmente. Estos métodos son el *método del precio más bajo* y el *método de la recuperación neta*.

#### 3.1. *Método del precio mas bajo.*

Seleccionar cual motor se compra con base en el precio más bajo puede conducir a una mala decisión económica. Un ejemplo de esto es seleccionar un motor de baja eficiencia que tiene un precio de 5000 USD y una vida útil de 4 años, en lugar de un motor de mayor eficiencia que tiene un precio de 6000 USD y una vida útil de 6 años. La selección del motor de 5000 USD resulta en un costo anual de 1250 USD, en lugar de solo 1000 USD para el motor de más alta eficiencia.

Como se indica en el anterior ejemplo de una forma muy clara para saber que el método del precio mas bajo no es el mas adecuado aunque su nombre suene muy llamativo.

#### 3.2. *Método de la recuperación.*

El método de la recuperación se aplica calculando, para cada año dado, el ahorro anual que se obtiene cuando se utiliza el motor de mayor eficiencia y dividiendo esto entre la inversión adicional requerida para comprar dicho motor:

$$N_{RQ1} = \frac{C_{an}}{I_i} * 100 \quad (\%)$$

donde:

$C_{an}$  : ahorro anual (USD).

$I_i$  : inversión incremental (USD).

Los ahorros anuales pueden calcularse, como indica la expresión:

$$C_{an} = P_{sa\ ln\ om} LC_e N \left( \frac{100}{\eta_b} - \frac{100}{\eta_a} \right) \quad (\text{USD})$$

donde:

$P_{sa\ ln\ om}$  : potencia de salida nominal (Kw.),

$L$  : Por ciento de carga del motor/100,

$C_e$  : costo de la energía eléctrica, incluyendo los recargos por demanda máxima. (USD/kWh),

$N$  : tiempo anual de operación (h),

$\eta_b$  : eficiencia del motor de baja eficiencia al estado de carga L (%)

$\eta_a$  : eficiencia del motor de alta eficiencia al estado de carga L (%).

### 3.3. **Método del tiempo de recuperación.**

Una variante del método anterior es el tiempo de recuperación. En este caso se determina el tiempo que se demora en recuperar la inversión a través de la expresión:

$$T_R = \frac{I_i}{C_{an}} \quad (\text{Años}).$$

En este caso tampoco se refleja el cambio en el valor el dinero.



### 3.4 **Métodos de descuento.**

De acuerdo con el método de descuento, una inversión se puede evaluar de dos formas: según lo que vale hoy o según lo que valdrá, en determinado tiempo por lo que tomaremos.

El primer método es llamado *método del valor presente*. En este caso, la comparación económica se lleva a cabo al comienzo del periodo de inversión; y mientras más alto sea el interés calculado, más bajo será el valor de la inversión.

El segundo método, donde se pospone al adquisición del dinero y después se obtiene el valor calculado para un tiempo futuro, es llamado *método del valor futuro o terminal*. En este caso la evaluación se realiza al final del periodo de la inversión; y mientras mayor el interés, mayor es la cantidad total.

Para calcular el valor presente y el valor futuro, se emplea el factor de descuento, el cual se puede calcular de la siguiente manera:

$$\text{Factor de descuento} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\text{tasa de descuento (interés) en \%}}{100}\right)^{\text{año que transcurre}}}$$

De esta forma el valor real de dinero ahorrado al finalizar cada año será:

$$\text{Valor real} = \text{ahorro anual} * \text{factor de descuento.}$$

Para el valor futuro, el valor real del dinero al finalizar cada año, se calculara así:

$$\text{Valor real} = \frac{\text{ahorro anual}}{\text{factor de descuento}}$$

El valor presente para una inversión que se realiza con propósitos de ahorro, se obtiene al multiplicar el valor del ahorro anual por el factor de descuento por intereses y después restarle al costo de la inversión realizada en el presente, esto es:

$$\text{Valor presente} = \text{ahorro anual} * \text{factor de descuento} - \text{costo de la inversión}$$

Un proyecto que resulte rentable de acuerdo con el método de valor presente, también lo será con el método del valor futuro o terminal. Esto es debido a que es el mismo dinero el que es invertido, solo que se ha evaluado desde dos perspectivas de tiempo distintas.

#### 3.4.1 Método de análisis de flujo de efectivo

A partir de los principios del método de descuento, se deriva un procedimiento considerado muy eficaz para este tipo de estudio: El *método del análisis de flujo de efectivo*. Las técnicas de flujo de efectivo se basan en el flujo de dinero de año en año, asociado con el costo inicial del equipo y otros gastos, y los ahorros que se obtienen durante la vida útil, tomando en consideración los impuestos, la tasa de descuento, la inflación del costo de la energía y otros factores. El *valor presente neto* (VPN) y la *tasa interna de retorno* (TIR), son dos medidas de flujo efectivo.

Cuando se comparan dos alternativas de motores con distintas eficiencias se tienen, para un año dado, los siguientes elementos:

Ahorros por el uso de mayor eficiencia - Gastos de instalación y mantenimiento - Depreciación del motor por la inversión incremental = Beneficios antes de los impuestos

Beneficios antes de los impuestos - Impuestos (totales) = Ganancia después de los impuestos (total)

Ganancia después de los impuestos (total) + depreciación del motor por la inversión incremental = flujo de efectivo no descontado (total)

Flujo de efectivo no descontado (total) \* factor de descuento = flujo de efectivo descontado (total)

Flujo de efectivo descontado (total) + valor presente neto que existía al final del año anterior (para el primer año, se resta la inversión incremental) = valor presente neto (VPN)

En lo siguiente se describirán los elementos mencionados anteriormente.

#### 3.4.1.1 Ahorros por el uso de un motor de mayor eficiencia

##### Ahorro en energía eléctrica

Los ahorros anuales por la reducción de las pérdidas se calculan a partir de la ecuación ya planteada anteriormente, es

$$C_{an} = P_{sa \ln om} L C_e N \left( \frac{100}{\eta_b} - \frac{100}{\eta_a} \right) \text{ (USD)}$$

Como cada año el costo de la energía eléctrica estará afectado por la inflación, este será:

$$K_e = C_{ei} (1 + I_{infl} / 100)^{n-1} \text{ (USD/kWh)}$$

donde:

$C_{ei}$  : costo inicial de la energía eléctrica en el primer año (USD/kWh),

$I_{infl}$  ; tasa de inflación anual de la energía eléctrica (%),

$n$  : año que ha transcurrido.

El valor de la energía eléctrica que se ahorra será:

$$C_e = K_e L (P_{sal}) (12 T_o) \left( \frac{100}{\eta_b} - \frac{100}{\eta_a} \right) \text{ (USD)}$$

donde:

$T_o$  : tiempo de trabajo mensual del motor (h)

Cuando hay distintas tarifas horarias o el tiempo de trabajo mensual varía o ambas cosas, es necesario realizar los cálculos para cada variante y después calcular el total.

### Ahorro por reducción de la demanda máxima.

En algunas tarifas se cobra un recargo por la máxima demanda registrada en forma sostenida durante 15 minutos, en cada mes. Debido a que para la misma potencia de salida el motor de alta eficiencia tiene menor potencia de entrada que el de eficiencia estándar, se produce también un ahorro al contribuirse a la reducción de la demanda máxima. Se considera que el costo de la demanda máxima variara anualmente de la misma forma que el costo del Kwh. Es decir:

$$K_{dm} = C_{dm} (1 + I_{nfl} / 100)^{n-1} \quad (\text{USD/kW/mes})$$

donde:

$C_{dm}$  : costo inicial de la demanda máxima (USD/kW/mes).

El ahorro se determina a partir de:

$$C_{dm} = (P_{entb} - P_{enta}) K_{dm} 12 \quad (\text{USD})$$

donde:

$P_{entb}$  : potencia de entrada del motor de eficiencia estándar (Kw.)

$P_{enta}$  : potencia de entrada del motor de alta eficiencia (Kw.).

Los valores de estas potencias de entrada se calculan por medio de las expresiones siguientes:

$$P_{entb} = \frac{P_{sal}}{\eta_b / 100} \quad (\text{Kw.})$$

y

$$P_{enta} = \frac{P_{sal}}{\eta_a / 100} \quad (\text{Kw.})$$

### Ahorro total

El ahorro total anual viene dado por:

$$C_t = C_e + C_{dm} \quad (\text{USD})$$

#### 3.4.1.2. Gastos de instalación y mantenimiento

Si se consideran dos alternativas A y B los costos de instalación y mantenimiento no difieren mucho, estos pueden dejarse fuera del análisis ya que el costo diferencial en cero.

#### 3.4.1.3. Depreciación de la inversión incremental

La depreciación sobre el incremento de la inversión se resta primero de los ahorros para permitir el cálculo de los beneficios antes de los impuestos y después se vuelve a sumar para calcular el flujo efectivo.

La depreciación de los motores se considerara lineal. Entonces:

$$D_{ep} = \frac{I_i}{T} \quad (\text{USD})$$

donde

$T$  : vida útil o plazo de servicio de los motores (años)

#### 3.4.1.4. Beneficios antes de los impuestos

Sin considerar los impuestos, la magnitud del ahorro neto será:

$$C_{si} = C_t - D_{ep} \quad (\text{USD})$$

#### 3.4.1.5. Ganancia después de los impuestos

La tasa total de los impuestos se basa en las tasas nacionales, estatales, locales, etc. Tomadas en su totalidad.

El ahorro neto después de ser incluidos los impuestos vendará dado por:

$$C_{ci} = C_{si} - \left( \frac{I}{100} \right) C_{si} \quad (\text{USD})$$

donde:

$I$  : valor de los impuestos (%)

#### 3. 4.1.6. Flujo total efectivo no descontado

La magnitud total del valor acumulado al finalizar el año (considerando las ganancias logradas a partir de los ahorros y los desembolsos habidos) sin considerar los descuentos por el pago de intereses sobre los préstamos, es el flujo total de efectivo no descontado. Este será el ahorro con impuestos más la depreciación. La depreciación del capital invertido había sido primero restada de los ahorros para permitir el cálculo de los beneficios antes de los impuestos; Entonces ahora se vuelve a sumar como un flujo positivo de efectivo. De esta forma:

$$F_{nd} = C_{ci} + D_{ep} \quad (\text{USD})$$

#### 3. 4. 1. 7. Factor de descuento por interés.

Una vez que se definen los flujos de efectivo para cada año de acuerdo con la vida útil considerada para el motor, ellos se descuentan (basado en la tasa de interés) para reflejar su valor real.

El factor de descuento se calcula así:

$$F_D = \frac{1}{(1 + D/100)^n}$$

donde:

$D$ : tasa de descuento (interés) (%)

#### 3.4.1.8. Flujo total de efectivo descontado.

A partir del factor anterior, el flujo total de efectivo descontado en el año será:

$$F_{des} = F_{nd} F_D \quad (\text{USD})$$

### 3.4.2. Valor presente neto (VPN) y tasa interna de retorno (TIR)

El valor presente neto (VPN) al finalizar cada año será el flujo total efectivo descontado más el valor presente neto que existía al finalizar el año anterior. Para el primer año, el VPN anterior es la inversión realizada (que puede ser considerado el VPN de un año denominado cero y que se toma negativo). De esta forma:

$$VPN = F_{des} + VPN_{-1} \quad (\text{USD})$$

donde:

$VPN_{-1}$  : valor presente neto al finalizar el año anterior (USD).

Cuando se hacen análisis diferenciales entre dos alternativas, se puede utilizar ventajosamente la tasa interna de retorno (TIR). La TIR se define como la tasa de descuento de interés que produce un VPN cero al finalizar la vida útil.

A través de la implementación de un software de ahorro de energía<sup>1</sup>, se aplicaron los métodos de evaluación económica a los motores que serán remplazados en PROPAL Planta 1, se aplicó el procedimiento para hallar la Tasa Interna de Retorno (TIR), el cual también nos arrojó el tiempo de recuperación de la inversión, utilizando el método del valor presente y el método de flujo efectivo de descuento.

A cada motor se hizo el análisis respectivo, a continuación se muestran los resultados:

\*3 motores de 150 HP, 1200 RPM, Trifásico, los cálculos son los siguientes datos: el costo de la inversión es la diferencial entre un motor de alta eficiencia y el de baja eficiencia

---

<sup>1</sup> Software diseñado por los estudiantes de Ingeniería Eléctrica: Javier Cruz y Néstor Cubides

## METODO DEL VALOR PRESENTE

### INGRESO DE INFORMACION

Datos del Motor

Potencia de Salida - P <sub>sal</sub> (HP):	<input type="text" value="150"/>	Tiempo de Vida (Años):	<input type="text" value="20"/>
Porcentaje de Carga - L (%):	<input type="text" value="90"/>	Eficiencia del Motor de Baja Eficiencia (%):	<input type="text" value="80"/>
Tiempo Anual de Operacion - N (h):	<input type="text" value="8000"/>	Eficiencia del Motor de Alta Eficiencia (%):	<input type="text" value="95"/>

Datos Financieros

Costo de la Energía - C <sub>e</sub> (\$/kWh):	<input type="text" value="192"/>	Costo Inicial del motor (\$):	<input type="text" value="47847300"/>
Tasa de Interes (%):	<input type="text" value="25"/>	Costo Final del motor (\$):	<input type="text" value="16460900"/>

AÑO	FACTOR DESCUENTO	AHORRO ANUAL (\$)	VALOR REAL (\$)	VALOR REAL ACUM.(\$)
1	0,8	\$ 30.531.030,00	\$ 24.424.820,00	\$ 24.424.820,00
2	0,64	\$ 30.531.030,00	\$ 19.539.860,00	\$ 43.964.680,00
3	0,512	\$ 30.531.030,00	\$ 15.631.890,00	\$ 59.596.570,00
4	0,4096	\$ 30.531.030,00	\$ 12.505.510,00	\$ 72.102.080,00
5	0,32768	\$ 30.531.030,00	\$ 10.004.410,00	\$ 82.106.490,00
6	0,262144	\$ 30.531.030,00	\$ 8.003.526,00	\$ 90.110.020,00
7	0,2097152	\$ 30.531.030,00	\$ 6.402.821,00	\$ 96.512.840,00
8	0,1677722	\$ 30.531.030,00	\$ 5.122.256,00	\$ 101.635.100,00
9	0,1342177	\$ 30.531.030,00	\$ 4.097.805,00	\$ 105.732.900,00
10	0,1073742	\$ 30.531.030,00	\$ 3.278.244,00	\$ 109.011.200,00
11	8,589935E-02	\$ 30.531.030,00	\$ 2.622.595,00	\$ 111.633.700,00
12	6,871948E-02	\$ 30.531.030,00	\$ 2.098.076,00	\$ 113.731.800,00
13	5,497558E-02	\$ 30.531.030,00	\$ 1.678.461,00	\$ 115.410.300,00
14	4,398046E-02	\$ 30.531.030,00	\$ 1.342.769,00	\$ 116.753.100,00
15	3,518437E-02	\$ 30.531.030,00	\$ 1.074.215,00	\$ 117.827.300,00
16	0,0281475	\$ 30.531.030,00	\$ 859.372,00	\$ 118.686.600,00
17	0,022518	\$ 30.531.030,00	\$ 687.497,60	\$ 119.374.100,00
18	0,0180144	\$ 30.531.030,00	\$ 549.998,10	\$ 119.924.100,00
19	1,441152E-02	\$ 30.531.030,00	\$ 439.998,40	\$ 120.364.100,00
20	1,152921E-02	\$ 30.531.030,00	\$ 351.998,80	\$ 120.716.100,00

VALOR REAL FINAL

### TABLA METODO DEL VALOR PRESENTE

COSTO DE LA INVERSION

VALOR PRESENTE NETO

RECUPERACION DE LA INVERSION



Estos cálculos indican que la inversión se recupera a los 17 meses de instalado el motor.

### METODO DE ANALISIS DE FLUJO EFECTIVO INGRESO DE INFORMACION

Datos del Motor			
Potencia de Salida - P <sub>sal</sub> (HP):	<input type="text" value="150"/>	Tiempo de Vida (Años):	<input type="text" value="20"/>
Porcentaje de Carga - L (%):	<input type="text" value="90"/>	Eficiencia del Motor de Baja Eficiencia (%):	<input type="text" value="80"/>
Tiempo Anual de Operacion - N (h):	<input type="text" value="8000"/>	Eficiencia del Motor de Alta Eficiencia (%):	<input type="text" value="95"/>

Datos Financieros			
Costo Inicial de la Energía - C <sub>ei</sub> (\$/kWh):	<input type="text" value="192"/>	Impuestos (%):	<input type="text" value="23"/>
Costo Inicial del motor (\$):	<input type="text" value="47847300"/>	Tasa de Inflación de Energía anual (%/año):	<input type="text" value="10"/>
Costo Final del motor (\$):	<input type="text" value="16460900"/>	Tasa de Interes (%):	<input type="text" value="25"/>

### TABLA METODO DE ANALISIS DE FLUJO EFECTIVO

AÑO	COSTO DE LA ENERGIA (\$)	DEPRECIACIÓN (\$)	AHORRO SIN IMPUESTOS (\$)	AHORRO CON IMPUESTOS (\$)	FLUJO TOTAL EFECTIVO NO DESCONTADO (\$)	FACTOR DESCU. POR INTERESES (P.U.)	FLUJO TOTAL EFECTIVO DESCONTADO (\$)	VALOR PRESENTE NETO (\$)
0	\$	\$	\$	\$	\$	1	\$	(\$)
1	\$	\$	\$	\$	\$	0,8	\$	(\$)
2	\$	\$	\$	\$	\$	0,64	\$	\$ 4.490.736,00
3	\$	\$	\$	\$	\$	0,512	\$	\$
4	\$	\$	\$	\$	\$	0,4096	\$	\$
5	\$	\$	\$	\$	\$	0,32768	\$	\$
6	\$	\$	\$	\$	\$	0,262144	\$	\$
7	\$	\$	\$	\$	\$	0,2097152	\$ 8.809.797,00	\$
8	\$	\$	\$	\$	\$	0,1677722	\$ 7.746.566,00	\$
9	\$	\$	\$	\$	\$	0,1342177	\$ 6.812.133,00	\$
10	\$	\$	\$	\$	\$	0,1073742	\$ 5.990.802,00	\$
11	\$	\$	\$	\$	\$	8,589935E-02	\$ 5.268.805,00	\$
12	\$	\$	\$	\$	\$	6,871948E-02	\$ 4.634.068,00	\$
13	\$	\$	\$	\$	\$	5,497558E-02	\$ 4.075.996,00	\$
14	\$	\$	\$	\$	\$	4,398046E-02	\$ 3.585.289,00	\$
15	\$	\$	\$	\$	\$	3,518437E-02	\$ 3.153.784,00	\$

## METODO PARA EL CALCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO - TIR

La Tasa Interna de Retorno se define como la tasa de descuento o de interes que produce un Valor Presente Neto VPN cero al finalizar la vida util.

Se busca con este metodo encontrar dos valores de TIR que al calcular el VPN sean extremos del VPN cero, es decir uno de las dos TIR debe dar como resultado un valor de VPN positivo y el otro un valor de VPN negativo. Entre mas cercanos a cero sean los valores de VPN mas preciso va a dar la TIR.

Busqueda de Valores TIR

Esta seccion es para la busqueda que las TIR. Aqui usted debe dar valores de TIR hasta encontrar los valores extremos al cero, positivos y negativos, del VPN.

Tasa de Interes TIR (%)  --> VPN a 20 Años

Valores Extremos

En esta seccion se deben ubicar los valores extremos de TIR, encontrados en la seccion anterior.

Tasa de Interes TIR (%) para un VPN positivo

Tasa de Interes TIR (%) para un VPN negativo

Tasa Interna de Retorno - TIR (%)

\*motor de 20 HP, 1800 RPM, Trifásico.

## METODO DEL VALOR PRESENTE

### INGRESO DE INFORMACION

Datos del Motor

Potencia de Salida - P <sub>sal</sub> (HP):	<input type="text" value="20"/>	Tiempo de Vida (Años):	<input type="text" value="20"/>
Porcentaje de Carga - L (%):	<input type="text" value="90"/>	Eficiencia del Motor de Baja Eficiencia (%):	<input type="text" value="80"/>
Tiempo Anual de Operacion - N (h):	<input type="text" value="8000"/>	Eficiencia del Motor de Alta Eficiencia (%):	<input type="text" value="93"/>

Datos Financieros

Costo de la Energía - C <sub>e</sub> (\$/kWh):	<input type="text" value="192"/>	Costo Inicial del motor (\$):	<input type="text" value="5184400"/>
Tasa de Interes (%):	<input type="text" value="25"/>	Costo Final del motor (\$):	<input type="text" value="1953000"/>

### Valores arrojados:

Costo de la inversión	:\$3.231.400.00
Valor Presente Neto(VPN)	:\$11.018.000.00
Recuperación de la inversión	:1.150999274973
Valor real final	:\$14.249.400.00
Ahorro Anual	:\$3.603.901.00

La inversión se recupera en el tiempo establecido de 14 meses después de la puesta en marcha del motor.

### TABLA METODO DE ANALISIS DE FLUJO EFECTIVO

AÑO	COSTO DE LA ENERGÍA (\$)	DEPRECIACIÓN (\$)	AHORRO SIN IMPUESTOS (\$)	AHORRO CON IMPUESTOS (\$)	FLUJO TOTAL EFECTIVO NO DESCONTADO (\$)	FACTOR DESCU. POR INTERESES (P.U.)	FLUJO TOTAL EFECTIVO DESCONTADO (\$)	VALOR PRESENTE NETO (\$)
0	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$ 2.559.893,00	1	\$ 2.559.893,00	(\$
1	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$ 2.812.166,00	0,8	\$ 2.249.733,00	(\$ 981.667,30)
2	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$ 3.089.666,00	0,64	\$ 1.977.386,00	\$ 995.719,00
3	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$ 3.394.917,00	0,512	\$ 1.738.198,00	\$ 2.733.917,00
4	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$ 3.730.692,00	0,4096	\$ 1.528.091,00	\$ 4.262.008,00
5	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$ 4.100.045,00	0,32768	\$ 1.343.503,00	\$ 5.605.511,00
6	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$ 4.506.334,00	0,262144	\$ 1.181.308,00	\$ 6.786.819,00
7	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$ 4.953.251,00	0,2097152	\$ 1.038.772,00	\$ 7.825.591,00
8	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$ 5.444.860,00	0,1677722	\$ 913.495,90	\$ 8.739.087,00
9	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$ 5.985.630,00	0,1342177	\$ 803.377,60	\$ 9.542.465,00
10	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$ 6.580.477,00	0,1073742	\$ 706.573,30	\$
11	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$ 7.234.809,00	8,589935E-02	\$ 621.465,30	\$
12	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$ 7.954.573,00	6,871948E-02	\$ 546.634,10	\$
13	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$ 8.746.314,00	5,497558E-02	\$ 480.833,70	\$
14	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$ 9.617.229,00	4,398046E-02	\$ 422.970,20	\$
15	\$	\$ 161.570,00	\$	\$	\$	3,518437E-02	\$ 372.083,00	\$

La tasa interna de retorno resultante es TIR(%) de 96.90681 con un VPN a 20 años de 0.2649364.

.....

\*Motor de 10 HP ,1200 RPM, Trifásico.

### METODO DEL VALOR PRESENTE

INGRESO DE INFORMACION

Datos del Motor			
Potencia de Salida - P <sub>sal</sub> (HP):	<input type="text" value="10"/>	Tiempo de Vida (Años):	<input type="text" value="18"/>
Porcentaje de Carga - L (%):	<input type="text" value="90"/>	Eficiencia del Motor de Baja Eficiencia (%):	<input type="text" value="80"/>
Tiempo Anual de Operacion - N (h):	<input type="text" value="8000"/>	Eficiencia del Motor de Alta Eficiencia (%):	<input type="text" value="91"/>

Datos Financieros			
Costo de la Energía - C <sub>e</sub> (\$/kWh):	<input type="text" value="192"/>	Costo Inicial del motor (\$):	<input type="text" value="5530900"/>
Tasa de Interes (%):	<input type="text" value="25"/>	Costo Final del motor (\$):	<input type="text" value="1581000"/>

#### Valores arrojados:

Costo de la inversión	:\$3.949.900.00
Valor Presente Neto(VPN)	:\$2.170.768.00
Recuperación de la inversión	:1.52871870971012
Valor real final	:\$6.120.668.00
Ahorro Anual	:\$1.558.238.00

La inversión se recupera en el tiempo establecido de 19 meses después de la puesta en marcha del motor.

## TABLA METODO DE ANALISIS DE FLUJO EFECTIVO

AÑO	COSTO DE LA ENERGÍA (\$)	DEPRECIACIÓN (\$)	AHORRO SIN IMPUESTOS (\$)	AHORRO CON IMPUESTOS (\$)	FLUJO TOTAL EFECTIVO NO DESCONTADO (\$)	FACTOR DESCU. POR INTERESES (P.U.)	FLUJO TOTAL EFECTIVO DESCONTADO (\$)	VALOR PRESENTE NETO (\$)
0	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 2.232.005,00	1	\$ 2.232.005,00	(\$)
1	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 2.450.158,00	0,8	\$ 1.960.126,00	(\$)
2	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 2.690.127,00	0,64	\$ 1.721.681,00	(\$ 268.092,80)
3	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 2.954.092,00	0,512	\$ 1.512.495,00	\$ 1.244.403,00
4	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 3.244.454,00	0,4096	\$ 1.328.928,00	\$ 2.573.331,00
5	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 3.563.853,00	0,32768	\$ 1.167.803,00	\$ 3.741.134,00
6	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 3.915.191,00	0,262144	\$ 1.026.344,00	\$ 4.767.478,00
7	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 4.301.663,00	0,2097152	\$ 902.124,00	\$ 5.669.602,00
8	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 4.726.782,00	0,1677722	\$ 793.022,40	\$ 6.462.625,00
9	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 5.194.413,00	0,1342177	\$ 697.182,30	\$ 7.159.807,00
10	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 5.708.807,00	0,1073742	\$ 612.978,50	\$ 7.772.786,00
11	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 6.274.641,00	8,589935E-02	\$ 538.987,60	\$ 8.311.773,00
12	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 6.897.058,00	6,871948E-02	\$ 473.962,20	\$ 8.785.735,00
13	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 7.581.716,00	5,497558E-02	\$ 416.809,30	\$ 9.202.544,00
14	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 8.334.841,00	4,398046E-02	\$ 366.570,20	\$ 9.569.114,00
15	\$	\$ 219.438,90	\$	\$	\$ 9.163.278,00	3,518437E-02	\$ 322.404,20	\$ 9.891.518,00

La tasa interna de retorno resultante es TIR(%) de 71.83314 con un VPN a 18 años de 0.2077637

\*Motor de 150 HP, 1800 RPM, Trifásico.

### METODO DEL VALOR PRESENTE

#### INGRESO DE INFORMACION

Datos del Motor

Potencia de Salida - Psal (HP):	<input type="text" value="150"/>	Tiempo de Vida (Años):	<input type="text" value="20"/>
Porcentaje de Carga - L (%):	<input type="text" value="90"/>	Eficiencia del Motor de Baja Eficiencia (%):	<input type="text" value="80"/>
Tiempo Anual de Operacion - N (h):	<input type="text" value="8000"/>	Eficiencia del Motor de Alta Eficiencia (%):	<input type="text" value="95,8"/>

Datos Financieros

Costo de la Energía - Ce (\$/kWh):	<input type="text" value="192"/>	Costo Inicial del motor (\$):	<input type="text" value="39817700"/>
Tasa de Interes (%):	<input type="text" value="25"/>	Costo Final del motor (\$):	<input type="text" value="12258000"/>

### Valores arrojados:

Costo de la inversión	:\$27.559.700.00
Valor Presente Neto(VPN)	:\$98.532.780.00
Recuperación de la inversión	:1.10029649006989
Valor real final	:\$129.092.500.00
Ahorro Anual	:\$31.890.800.00

La inversión se recupera en el tiempo establecido de 14 meses después de la puesta en marcha del motor.

### TABLA METODO DE ANALISIS DE FLUJO EFECTIVO

AÑO	COSTO DE LA ENERGÍA (\$)	DEPRECIACIÓN (\$)	AHORRO SIN IMPUESTOS (\$)	AHORRO CON IMPUESTOS (\$)	FLUJO TOTAL EFECTIVO NO DESCONTADO (\$)	FACTOR DESCU POR INTERESES (P.U.)	FLUJO TOTAL EFECTIVO DESCONTADO (\$)	VALOR PRESENTE NETO (\$)
0	\$	\$	\$	\$	\$	1	\$	(\$)
1	\$	\$	\$	\$	\$	0,8	\$	(\$)
2	\$	\$	\$	\$	\$	0,64	\$	\$ 9.828.786,00
3	\$	\$	\$	\$	\$	0,512	\$	\$
4	\$	\$	\$	\$	\$	0,4096	\$	\$
5	\$	\$	\$	\$	\$	0,32768	\$	\$
6	\$	\$	\$	\$	\$	0,262144	\$	\$
7	\$	\$	\$	\$	\$	0,2097152	\$ 9.189.561,00	\$
8	\$	\$	\$	\$	\$	0,1677722	\$ 8.081.497,00	\$
9	\$	\$	\$	\$	\$	0,1342177	\$ 7.107.462,00	\$
10	\$	\$	\$	\$	\$	0,1073742	\$ 6.251.164,00	\$
11	\$	\$	\$	\$	\$	8,589935E-02	\$ 5.498.302,00	\$
12	\$	\$	\$	\$	\$	6,871948E-02	\$ 4.836.327,00	\$
13	\$	\$	\$	\$	\$	5,497558E-02	\$ 4.254.226,00	\$
14	\$	\$	\$	\$	\$	4,398046E-02	\$ 3.742.325,00	\$
15	\$	\$	\$	\$	\$	3,518437E-02	\$ 3.292.131,00	\$

La tasa interna de retorno resultante es TIR(%) de 100.1353 con un VPN a 20 años de 31.21532.

- Motor de 50 HP, 1200 RPM, Trifásico

### METODO DEL VALOR PRESENTE INGRESO DE INFORMACION

Datos del Motor			
Potencia de Salida - P <sub>sal</sub> (HP):	<input style="width: 90%;" type="text" value="50"/>	Tiempo de Vida (Años):	<input style="width: 90%;" type="text" value="20"/>
Porcentaje de Carga - L (%):	<input style="width: 90%;" type="text" value="90"/>	Eficiencia del Motor de Baja Eficiencia (%):	<input style="width: 90%;" type="text" value="80"/>
Tiempo Anual de Operacion - N (h):	<input style="width: 90%;" type="text" value="8000"/>	Eficiencia del Motor de Alta Eficiencia (%):	<input style="width: 90%;" type="text" value="94.5"/>

Datos Financieros			
Costo de la Energía - C <sub>e</sub> (\$/kWh):	<input style="width: 90%;" type="text" value="192"/>	Costo Inicial del motor (\$):	<input style="width: 90%;" type="text" value="18444300"/>
Tasa de Interes (%):	<input style="width: 90%;" type="text" value="25"/>	Costo Final del motor (\$):	<input style="width: 90%;" type="text" value="7014000"/>

#### Valores arrojados:

Costo de la inversión	:\$11.430.300.00
Valor Presente Neto(VPN)	:\$27.672.920.00
Recuperación de la inversión	:1.55588014599373
Valor real final	:\$39.103.220.00
Ahorro Anual	:\$9.889.828.00

La inversión se recupera en el tiempo establecido de 20 meses después de la puesta en marcha del motor.

## TABLA METODO DE ANALISIS DE FLUJO EFECTIVO

AÑO	COSTO DE LA ENERGIA (\$)	DEPRECIACIÓN (\$)	AHORRO SIN IMPUESTOS (\$)	AHORRO CON IMPUESTOS (\$)	FLUJO TOTAL EFECTIVO NO DESCONTADO (\$)	FACTOR DESCU. POR INTERESES (P.U.)	FLUJO TOTAL EFECTIVO DESCONTADO (\$)	VALOR PRESENTE NETO (\$)
0	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$ 7.054.329,00	1	\$ 7.054.329,00	(\$)
1	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$ 7.746.617,00	0,8	\$ 6.197.294,00	(\$)
2	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$ 8.508.133,00	0,64	\$ 5.445.205,00	\$ 212.198,50
3	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$ 9.345.802,00	0,512	\$ 4.785.051,00	\$ 4.997.250,00
4	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$	0,4096	\$ 4.205.460,00	\$ 9.202.710,00
5	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$	0,32768	\$ 3.696.498,00	\$
6	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$	0,262144	\$ 3.249.472,00	\$
7	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$	0,2097152	\$ 2.856.779,00	\$
8	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$	0,1677722	\$ 2.511.760,00	\$
9	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$	0,1342177	\$ 2.208.585,00	\$
10	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$	0,1073742	\$ 1.942.143,00	\$
11	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$	8,589935E-02	\$ 1.707.957,00	\$
12	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$	6,871948E-02	\$ 1.502.099,00	\$
13	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$	5,497558E-02	\$ 1.321.124,00	\$
14	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$	4,398046E-02	\$ 1.162.011,00	\$
15	\$	\$ 571.515,00	\$	\$	\$	3,518437E-02	\$ 1.022.107,00	\$

La tasa interna de retorno resultante es TIR(%) de 77,832 con un VPN a 20 años de 0.1626587.

.....  
\*Motor de 60 HP, 1200 RPM, Trifásico.

### METODO DEL VALOR PRESENTE

#### INGRESO DE INFORMACION

Datos del Motor

Potencia de Salida - P <sub>sal</sub> (HP):	<input type="text" value="60"/>	Tiempo de Vida (Años):	<input type="text" value="20"/>
Porcentaje de Carga - L (%):	<input type="text" value="90"/>	Eficiencia del Motor de Baja Eficiencia (%):	<input type="text" value="80"/>
Tiempo Anual de Operacion - N (h):	<input type="text" value="8000"/>	Eficiencia del Motor de Alta Eficiencia (%):	<input type="text" value="94,5"/>

Datos Financieros

Costo de la Energía - C <sub>e</sub> (\$/kWh):	<input type="text" value="192"/>	Costo Inicial del motor (\$):	<input type="text" value="21776900"/>
Tasa de Interes (%):	<input type="text" value="25"/>	Costo Final del motor (\$):	<input type="text" value="7287800"/>



### Valores arrojados:

Costo de la inversión	:\$14.489.100.00
Valor Presente Neto(VPN)	:\$32.434.770.00
Recuperación de la inversión	:1.65761825744467
Valor real final	:\$46.923.870.00
Ahorro Anual	:\$11.867.790.00

La inversión se recupera en el tiempo establecido de 24 meses después de la puesta en marcha del motor.

### TABLA METODO DE ANALISIS DE FLUJO EFECTIVO

AÑO	COSTO DE LA ENERGIA (\$)	DEPRECIACIÓN (\$)	AHORRO SIN IMPUESTOS (\$)	AHORRO CON IMPUESTOS (\$)	FLUJO TOTAL EFECTIVO NO DESCONTADO (\$)	FACTOR DESCU. POR INTERESES (P.U.)	FLUJO TOTAL EFECTIVO DESCONTADO (\$)	VALOR PRESENTE NETO (\$)
0	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$ 8.474.080,00	1	\$ 8.474.080,00	(\$)
1	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$ 9.304.826,00	0,8	\$ 7.443.861,00	(\$)
2	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$	0,64	\$ 6.539.934,00	(\$ 505.305,00)
3	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$	0,512	\$ 5.746.611,00	\$ 5.241.306,00
4	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$	0,4096	\$ 5.050.192,00	\$
5	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$	0,32768	\$ 4.438.710,00	\$
6	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$	0,262144	\$ 3.901.697,00	\$
7	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$	0,2097152	\$ 3.429.999,00	\$
8	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$	0,1677722	\$ 3.015.603,00	\$
9	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$	0,1342177	\$ 2.651.494,00	\$
10	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$	0,1073742	\$ 2.331.526,00	\$
11	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$	8,589935E-02	\$ 2.050.312,00	\$
12	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$	6,871948E-02	\$ 1.803.129,00	\$
13	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$	5,497558E-02	\$ 1.585.838,00	\$
14	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$	4,398046E-02	\$ 1.394.804,00	\$
15	\$	\$ 724.455,00	\$	\$	\$	3,518437E-02	\$ 1.226.841,00	\$

La tasa interna de retorno resultante es TIR(%) de 74.05768 con un VPN a 20 años de 0.4931641.

.....

\*Motor de 7.5 HP, 1200 RPM, Trifásico.

## METODO DEL VALOR PRESENTE

### INGRESO DE INFORMACION

Datos del Motor			
Potencia de Salida - P <sub>sal</sub> (HP):	<input type="text" value="7.5"/>	Tiempo de Vida (Años):	<input type="text" value="15"/>
Porcentaje de Carga - L (%):	<input type="text" value="90"/>	Eficiencia del Motor de Baja Eficiencia (%):	<input type="text" value="78"/>
Tiempo Anual de Operacion - N (h):	<input type="text" value="8000"/>	Eficiencia del Motor de Alta Eficiencia (%):	<input type="text" value="91"/>

Datos Financieros			
Costo de la Energía - C <sub>e</sub> (\$/kWh):	<input type="text" value="192"/>	Costo Inicial del motor (\$):	<input type="text" value="4564700"/>
Tasa de Interes (%):	<input type="text" value="25"/>	Costo Final del motor (\$):	<input type="text" value="1230000"/>

### Valores arrojados:

Costo de la inversión	:\$3.334.700.00
Valor Presente Neto(VPN)	:\$2.132.254.00
Recuperación de la inversión	:3.981568122932269
Valor real final	:\$5.466.954
Ahorro Anual	:\$1.416.580

La inversión se recupera en el tiempo establecido de 50 meses después de la puesta en marcha del motor.

## TABLA METODO DE ANALISIS DE FLUJO EFECTIVO

AÑO	COSTO DE LA ENERGIA (\$)	DEPRECIACIÓN (\$)	AHORRO SIN IMPUESTOS (\$)	AHORRO CON IMPUESTOS (\$)	FLUJO TOTAL EFECTIVO NO DESCONTADO (\$)	FACTOR DESCU. POR INTERESES (P.U.)	FLUJO TOTAL EFECTIVO DESCONTADO (\$)	VALOR PRESENTE NETO (\$)
0	\$	\$ 222.313,30	\$	\$ 820.424,90	\$ 1.042.738,00	1	\$ 1.042.738,00	(\$
1	\$	\$ 222.313,30	\$	\$ 919.585,50	\$ 1.141.899,00	0,8	\$ 913.519,10	(\$
2	\$	\$ 222.313,30	\$	\$	\$ 1.250.976,00	0,64	\$ 800.624,30	(\$
3	\$	\$ 222.313,30	\$	\$	\$ 1.370.960,00	0,512	\$ 701.931,50	(\$ 918.625,30)
4	\$	\$ 222.313,30	\$	\$	\$ 1.502.943,00	0,4096	\$ 615.605,30	(\$ 303.019,90)
5	\$	\$ 222.313,30	\$	\$	\$ 1.648.124,00	0,32768	\$ 540.057,20	\$ 237.037,30
6	\$	\$ 222.313,30	\$	\$	\$ 1.807.823,00	0,262144	\$ 473.909,90	\$ 710.947,20
7	\$	\$ 222.313,30	\$	\$	\$ 1.983.492,00	0,2097152	\$ 415.968,40	\$ 1.126.916,00
8	\$	\$ 222.313,30	\$	\$	\$ 2.176.728,00	0,1677722	\$ 365.194,30	\$ 1.492.110,00
9	\$	\$ 222.313,30	\$	\$	\$ 2.389.288,00	0,1342177	\$ 320.684,70	\$ 1.812.795,00
10	\$	\$ 222.313,30	\$	\$	\$ 2.623.103,00	0,1073742	\$ 281.653,50	\$ 2.094.448,00
11	\$	\$ 222.313,30	\$	\$	\$ 2.880.300,00	8,589935E-02	\$ 247.415,90	\$ 2.341.864,00
12	\$	\$ 222.313,30	\$	\$	\$ 3.163.217,00	6,871948E-02	\$ 217.374,60	\$ 2.559.239,00
13	\$	\$ 222.313,30	\$	\$	\$ 3.474.425,00	5,497558E-02	\$ 191.008,50	\$ 2.750.247,00
14	\$	\$ 222.313,30	\$	\$	\$ 3.816.755,00	4,398046E-02	\$ 167.862,60	\$ 2.918.110,00
15	\$	\$ 222.313,30	\$	\$	\$ 4.193.317,00	3,518437E-02	\$ 147.539,20	\$ 3.065.649,00

La tasa interna de retorno resultante es TIR(%) de 43.26136 con un VPN a 15 años de 0.3925781.

\*Motor de 25 HP, 1200 RPM, Trifásico.

### METODO DEL VALOR PRESENTE

#### INGRESO DE INFORMACION

Datos del Motor

Potencia de Salida - P <sub>sal</sub> (HP):	<input type="text" value="25"/>	Tiempo de Vida (Años):	<input type="text" value="18"/>
Porcentaje de Carga - L (%):	<input type="text" value="90"/>	Eficiencia del Motor de Baja Eficiencia (%):	<input type="text" value="80"/>
Tiempo Anual de Operacion - N (h):	<input type="text" value="8000"/>	Eficiencia del Motor de Alta Eficiencia (%):	<input type="text" value="91"/>

Datos Financieros

Costo de la Energía - C <sub>e</sub> (\$/kWh):	<input type="text" value="192"/>	Costo Inicial del motor (\$):	<input type="text" value="6454000"/>
Tasa de Interes (%):	<input type="text" value="25"/>	Costo Final del motor (\$):	<input type="text" value="1917000"/>

### Valores arrojados:

Costo de la inversión	:\$4.537.000.00
Valor Presente Neto(VPN)	:\$10.764.670.00
Recuperación de la inversión	:1.56976399355275
Valor real final	:\$15.301.670.00
Ahorro Anual	:\$3.895.594.00

La inversión se recupera en el tiempo establecido de 20 meses después de la puesta en marcha del motor.

### TABLA METODO DE ANALISIS DE FLUJO EFECTIVO

AÑO	COSTO DE LA ENERGIA (\$)	DEPRECIACIÓN (\$)	AHORRO SIN IMPUESTOS (\$)	AHORRO CON IMPUESTOS (\$)	FLUJO TOTAL EFECTIVO NO DESCONTADO (\$)	FACTOR DESCU. POR INTERESES (P.U.)	FLUJO TOTAL EFECTIVO DESCONTADO (\$)	VALOR PRESENTE NETO (\$)
0	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$ 2.784.890,00	1	\$ 2.784.890,00	(\$)
1	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$ 3.057.581,00	0,8	\$ 2.446.065,00	(\$)
2	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$ 3.357.542,00	0,64	\$ 2.148.827,00	\$ 57.891,75
3	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$ 3.687.500,00	0,512	\$ 1.888.000,00	\$ 1.945.892,00
4	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$ 4.050.452,00	0,4096	\$ 1.659.065,00	\$ 3.604.957,00
5	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$ 4.449.700,00	0,32768	\$ 1.458.078,00	\$ 5.063.034,00
6	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$ 4.888.873,00	0,262144	\$ 1.281.589,00	\$ 6.344.623,00
7	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$ 5.371.962,00	0,2097152	\$ 1.126.582,00	\$ 7.471.205,00
8	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$ 5.903.362,00	0,1677722	\$ 990.419,70	\$ 8.461.624,00
9	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$ 6.487.901,00	0,1342177	\$ 870.791,30	\$ 9.332.415,00
10	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$ 7.130.893,00	0,1073742	\$ 765.673,80	\$
11	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$ 7.838.185,00	8,589935E-02	\$ 673.294,90	\$
12	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$ 8.616.206,00	6,871948E-02	\$ 592.101,20	\$
13	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$ 9.472.030,00	5,497558E-02	\$ 520.730,30	\$
14	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$	4,398046E-02	\$ 457.987,70	\$
15	\$	\$ 252.055,60	\$	\$	\$	3,518437E-02	\$ 402.825,30	\$

La tasa interna de retorno resultante es TIR(%) de 77.21424 con un VPN a 18 años de 0.2177124.

- Motor de 30 HP, 1800 RPM, Trifásico.

## METODO DEL VALOR PRESENTE

### INGRESO DE INFORMACION

Datos del Motor			
Potencia de Salida - P <sub>sal</sub> (HP):	<input type="text" value="30"/>	Tiempo de Vida (Años):	<input type="text" value="18"/>
Porcentaje de Carga - L (%):	<input type="text" value="90"/>	Eficiencia del Motor de Baja Eficiencia (%):	<input type="text" value="80"/>
Tiempo Anual de Operacion - N (h):	<input type="text" value="8000"/>	Eficiencia del Motor de Alta Eficiencia (%):	<input type="text" value="94.1"/>

Datos Financieros			
Costo de la Energía - C <sub>e</sub> (\$/kWh):	<input type="text" value="192"/>	Costo Inicial del motor (\$):	<input type="text" value="7139000"/>
Tasa de Interes (%):	<input type="text" value="25"/>	Costo Final del motor (\$):	<input type="text" value="2952000"/>

### Valores arrojados:

Costo de la inversión	:\$4.187.000.00
Valor Presente Neto(VPN)	:\$18.574.360.00
Recuperación de la inversión	:0.903191466704811
Valor real final	:\$22.761.360.00
Ahorro Anual	:\$5.794.730.00

La inversión se recupera en el tiempo establecido de 11 meses después de la puesta en marcha del motor.

## TABLA METODO DE ANALISIS DE FLUJO EFECTIVO

AÑO	COSTO DE LA ENERGÍA (\$)	DEPRECIACIÓN (\$)	AHORRO SIN IMPUESTOS (\$)	AHORRO CON IMPUESTOS (\$)	FLUJO TOTAL EFECTIVO NO DESCONTADO (\$)	FACTOR DESCU. POR INTERESES (P.U.)	FLUJO TOTAL EFECTIVO DESCONTADO (\$)	VALOR PRESENTE NETO (\$)
0	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$ 4.109.813,00	1	\$ 4.109.813,00	(\$
1	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$ 4.515.444,00	0,8	\$ 3.612.355,00	(\$ 574.644,80)
2	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$ 4.961.638,00	0,64	\$ 3.175.448,00	\$ 2.600.804,00
3	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$ 5.452.452,00	0,512	\$ 2.791.656,00	\$ 5.392.459,00
4	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$ 5.992.347,00	0,4096	\$ 2.454.465,00	\$ 7.846.924,00
5	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$ 6.586.232,00	0,32768	\$ 2.158.176,00	\$
6	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$ 7.239.505,00	0,262144	\$ 1.897.793,00	\$
7	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$ 7.958.105,00	0,2097152	\$ 1.668.936,00	\$
8	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$ 8.748.565,00	0,1677722	\$ 1.467.766,00	\$
9	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$ 9.618.072,00	0,1342177	\$ 1.290.916,00	\$
10	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$	0,1073742	\$ 1.135.431,00	\$
11	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$	8,589935E-02	\$ 998.720,10	\$
12	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$	6,871948E-02	\$ 878.506,00	\$
13	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$	5,497558E-02	\$ 772.791,10	\$
14	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$	4,398046E-02	\$ 679.820,90	\$
15	\$	\$ 232.611,10	\$	\$	\$	3,518437E-02	\$ 598.054,20	\$

La tasa interna de retorno resultante es TIR(%) de 117.7353 con un VPN a 18 años de 1.903946.

\*Motor de 20 HP, 3600 RPM, Trifásico.

### METODO DEL VALOR PRESENTE

#### INGRESO DE INFORMACION

Datos del Motor

Potencia de Salida - Psal (HP):	<input type="text" value="20"/>	Tiempo de Vida (Años):	<input type="text" value="18"/>
Porcentaje de Carga - L (%):	<input type="text" value="90"/>	Eficiencia del Motor de Baja Eficiencia (%):	<input type="text" value="80"/>
Tiempo Anual de Operacion - N (h):	<input type="text" value="8000"/>	Eficiencia del Motor de Alta Eficiencia (%):	<input type="text" value="90.2"/>

Datos Financieros

Costo de la Energía - Ce (\$/kWh):	<input type="text" value="192"/>	Costo Inicial del motor (\$):	<input type="text" value="5243900"/>
Tasa de Interes (%):	<input type="text" value="25"/>	Costo Final del motor (\$):	<input type="text" value="1518000"/>

### Valores arrojados:

Costo de la inversión	:\$3.725.900.00
Valor Presente Neto(VPN)	:\$7.725.835.00
Recuperación de la inversión	:1.74684824416647
Valor real final	:\$11.451.740.00
Ahorro Anual	:\$2.915.454.00

La inversión se recupera en el tiempo establecido de 22 meses después de la puesta en marcha del motor.

### TABLA METODO DE ANALISIS DE FLUJO EFECTIVO

AÑO	COSTO DE LA ENERGIA (\$)	DEPRECIACIÓN (\$)	AHORRO SIN IMPUESTOS (\$)	AHORRO CON IMPUESTOS (\$)	FLUJO TOTAL EFECTIVO NO DESCONTADO (\$)	FACTOR DESCU. POR INTERESES (P.U.)	FLUJO TOTAL EFECTIVO DESCONTADO (\$)	VALOR PRESENTE NETO (\$)
0	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 2.088.427,00	1	\$ 2.088.427,00	\$
1	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 2.292.508,00	0,8	\$ 1.834.007,00	\$
2	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 2.516.998,00	0,64	\$ 1.610.879,00	(\$ 281.014,50)
3	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 2.763.937,00	0,512	\$ 1.415.136,00	\$ 1.134.122,00
4	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 3.035.570,00	0,4096	\$ 1.243.370,00	\$ 2.377.491,00
5	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 3.334.367,00	0,32768	\$ 1.092.605,00	\$ 3.470.096,00
6	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 3.663.042,00	0,262144	\$ 960.244,50	\$ 4.430.341,00
7	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 4.024.585,00	0,2097152	\$ 844.016,70	\$ 5.274.357,00
8	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 4.422.283,00	0,1677722	\$ 741.935,90	\$ 6.016.293,00
9	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 4.859.751,00	0,1342177	\$ 652.264,60	\$ 6.668.558,00
10	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 5.340.965,00	0,1073742	\$ 573.481,70	\$ 7.242.039,00
11	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 5.870.300,00	8,589935E-02	\$ 504.254,90	\$ 7.746.294,00
12	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 6.452.569,00	6,871948E-02	\$ 443.417,20	\$ 8.189.711,00
13	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 7.093.066,00	5,497558E-02	\$ 389.945,40	\$ 8.579.656,00
14	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 7.797.612,00	4,398046E-02	\$ 342.942,60	\$ 8.922.599,00
15	\$	\$ 206.994,40	\$	\$	\$ 8.572.612,00	3,518437E-02	\$ 301.622,00	\$ 9.224.221,00

La tasa interna de retorno resultante es TIR(%) de 71.32906 con un VPN a 18 años de 0.546814.

- Motor de 75 HP, 1800 RPM, Trifásico.

## METODO DEL VALOR PRESENTE

### INGRESO DE INFORMACION

Datos del Motor			
Potencia de Salida - Psal (HP):	<input style="width: 90%;" type="text" value="75"/>	Tiempo de Vida (Años):	<input style="width: 90%;" type="text" value="20"/>
Porcentaje de Carga - L (%):	<input style="width: 90%;" type="text" value="90"/>	Eficiencia del Motor de Baja Eficiencia (%):	<input style="width: 90%;" type="text" value="80"/>
Tiempo Anual de Operacion - N (h):	<input style="width: 90%;" type="text" value="8000"/>	Eficiencia del Motor de Alta Eficiencia (%):	<input style="width: 90%;" type="text" value="95.4"/>

Datos Financieros			
Costo de la Energía - Ce (\$/kWh):	<input style="width: 90%;" type="text" value="192"/>	Costo Inicial del motor (\$):	<input style="width: 90%;" type="text" value="20899700"/>
Tasa de Interes (%):	<input style="width: 90%;" type="text" value="25"/>	Costo Final del motor (\$):	<input style="width: 90%;" type="text" value="6655000"/>

### Valores arrojados:

Costo de la inversión	:\$14.244.700.00
Valor Presente Neto(VPN)	:\$47.463.090.00
Recuperación de la inversión	:1.17612351158361
Valor real final	:\$61.707.790.00
Ahorro Anual	:\$15.606.880.00

La inversión se recupera en el tiempo establecido de 14 meses después de la puesta en marcha del motor.



## TABLA METODO DE ANALISIS DE FLUJO EFECTIVO

AÑO	COSTO DE LA ENERGIA (\$)	DEPRECIACIÓN (\$)	AHORRO SIN IMPUESTOS (\$)	AHORRO CON IMPUESTOS (\$)	FLUJO TOTAL EFECTIVO NO DESCONTADO (\$)	FACTOR DESCU. POR INTERESES (P.U.)	FLUJO TOTAL EFECTIVO DESCONTADO (\$)	VALOR PRESENTE NETO (\$)
0	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	1	\$	(\$
1	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	0,8	\$ 9.744.891,00	(\$
2	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	0,64	\$ 8.565.020,00	\$ 4.065.211,00
3	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	0,512	\$ 7.528.832,00	\$
4	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	0,4096	\$ 6.618.662,00	\$
5	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	0,32768	\$ 5.819.054,00	\$
6	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	0,262144	\$ 5.116.473,00	\$
7	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	0,2097152	\$ 4.499.062,00	\$
8	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	0,1677722	\$ 3.956.425,00	\$
9	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	0,1342177	\$ 3.479.456,00	\$
10	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	0,1073742	\$ 3.060.162,00	\$
11	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	8,589935E-02	\$ 2.691.536,00	\$
12	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	6,871948E-02	\$ 2.367.426,00	\$
13	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	5,497558E-02	\$ 2.082.434,00	\$
14	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	4,398046E-02	\$ 1.831.821,00	\$
15	\$	\$ 712.235,00	\$	\$	\$	3,518437E-02	\$ 1.611.426,00	\$

La tasa interna de retorno resultante es TIR(%) de 95.39188 con un VPN a 20 años de 1.5961

\* Motor de 60 HP, 1800 RPM, Trifásico.

### METODO DEL VALOR PRESENTE INGRESO DE INFORMACION

Datos del Motor

Potencia de Salida - P <sub>sal</sub> (HP):	<input type="text" value="60"/>	Tiempo de Vida (Años):	<input type="text" value="20"/>
Porcentaje de Carga - L (%):	<input type="text" value="90"/>	Eficiencia del Motor de Baja Eficiencia (%):	<input type="text" value="80"/>
Tiempo Anual de Operacion - N (h):	<input type="text" value="8000"/>	Eficiencia del Motor de Alta Eficiencia (%):	<input type="text" value="94,5"/>

Datos Financieros

Costo de la Energía - C <sub>e</sub> (\$/kWh):	<input type="text" value="192"/>	Costo Inicial del motor (\$):	<input type="text" value="16576300"/>
Tasa de Interes (%):	<input type="text" value="25"/>	Costo Final del motor (\$):	<input type="text" value="4605000"/>

### Valores arrojados:

Costo de la inversión	:\$11.971.300.00
Valor Presente Neto(VPN)	:\$34.952.570.00
Recuperación de la inversión	:1.32612756678652
Valor real final	:\$46.923.870
Ahorro Anual	:\$11.867.790

La inversión se recupera en el tiempo establecido de 16 meses después de la puesta en marcha del motor.

### TABLA METODO DE ANALISIS DE FLUJO EFECTIVO

AÑO	COSTO DE LA ENERGIA (\$)	DEPRECIACIÓN (\$)	AHORRO SIN IMPUESTOS (\$)	AHORRO CON IMPUESTOS (\$)	FLUJO TOTAL EFECTIVO NO DESCONTADO (\$)	FACTOR DESCU. POR INTERESES (P.U.)	FLUJO TOTAL EFECTIVO DESCONTADO (\$)	VALOR PRESENTE NETO (\$)
0	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$ 8.445.126,00	1	\$ 8.445.126,00	(\$)
1	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$ 9.275.871,00	0,8	\$ 7.420.697,00	(\$)
2	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$	0,64	\$ 6.521.403,00	\$ 1.970.800,00
3	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$	0,512	\$ 5.731.787,00	\$ 7.702.586,00
4	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$	0,4096	\$ 5.038.332,00	\$
5	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$	0,32768	\$ 4.429.222,00	\$
6	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$	0,262144	\$ 3.894.106,00	\$
7	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$	0,2097152	\$ 3.423.926,00	\$
8	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$	0,1677722	\$ 3.010.745,00	\$
9	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$	0,1342177	\$ 2.647.608,00	\$
10	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$	0,1073742	\$ 2.328.417,00	\$
11	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$	8,589935E-02	\$ 2.047.824,00	\$
12	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$	6,871948E-02	\$ 1.801.139,00	\$
13	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$	5,497558E-02	\$ 1.584.246,00	\$
14	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$	4,398046E-02	\$ 1.393.531,00	\$
15	\$	\$ 598.565,00	\$	\$	\$	3,518437E-02	\$ 1.225.823,00	\$

La tasa interna de retorno resultante es TIR(%) de 87.35078 con un VPN a 20 años de 0.0424041.

#### **4. AHORRO DE ENERGÍA CON MOTORES DE ALTA EFICIENCIA.**

*Motores de alta eficiencia para reemplazar motores de más baja eficiencia en operación.*

Es interesante justificar económicamente el reemplazo de los motores que están trabajando satisfactoriamente por motores nuevos de alta eficiencia. Se supone que el motor en operación está en buenas condiciones y que tiene una vida útil no muy elevada, el cual tiene una eficiencia estándar y el sustituto una eficiencia alta, con base en los datos del fabricante. En una planta industrial el reemplazo de un motor existente que está operando satisfactoriamente por un motor nuevo de mayor eficiencia, no resulta satisfactorio desde el punto de vista económico, a no ser que se ofrezcan incentivos por parte de la compañía electricadora (Utility).

Si el motor existente ha estado en servicio durante muchos años (con múltiples rebobinados) y tiene una eficiencia muy baja en relación con el nuevo motor o si el costo de electricidad es muy alto, entonces aun es posible que un reemplazo sea económicamente la mejor idea.

El costo anual de las reparaciones y de las sustituciones de los motores puede exceder significativamente el costo capital de los nuevos motores. Al tomar decisiones en cuanto a reparar o reemplazar motores cuando se producen fallas y otros problemas, se necesita considerar varios factores. Estos factores son:

- Historia de la operación y de la reparación de los motores,
- Calidad y costo de las reparaciones,
- Diferencia de eficiencia entre el motor reparado y el motor nuevo.

Lo más común es que la historia, la calidad de las reparaciones y la eficiencia no se consideren. Con demasiada frecuencia, las reparaciones se dejan a discreción

de la empresa reparadora. Usualmente el consumidor quiere que el motor se repare y devuelva tan rápido como sea posible. El costo, la calidad y el comportamiento del motor, en caso de que se evalúen, son casi siempre preocupaciones pasadas a segundo plano.

Una vez reparado, el motor regresa a realizar el mismo servicio o a formar parte de la reserva con poca consideración en relación con la historia del motor. Este tipo de gerencia hace poco por mantener una adecuada información sobre el motor y sobre la calidad de las reparaciones que ha sufrido.

Hay que ajustar los sistemas de gerencia para lograr que información tal como la eficiencia este disponible para aquellos que tienen que tomar decisiones. Además de proveer esta información crítica, un correcto sistema puede también brindar otras ventajas económicas, tal como reducción de inventarios y un incremento de la disponibilidad gracias al monitoreo de las fallas y al mantenimiento preventivo.

Para nuestro caso en Propal planta 1 existe la información de las fichas técnicas de los motores, a continuación mostraré el contenido de las fichas técnicas de los motores que se van a cambiar por los motores de alta eficiencia.

#### *FICHAS TÉCNICA DE LOS MOTORES A CAMBIAR*

<b>* MOTOR No.</b>	525M10
<b>APLICACION</b>	BOMBA STOCK CHEST
<b>CEDULA</b>	552
<b>R.P.M</b>	1170
<b>H.P</b>	150
<b>AMP</b>	190
<b>VOLTIOS</b>	440
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Primer piso pulpa
<b>CIRCUITO No</b>	2-10
<b>FRAME</b>	DS 540-6 ABIERTO

**COS  $\phi$**  0.87

**OBSERVACIONES:** 05-22-95 se reviso, 03-11-96 se quemo por agua, se monto MOAC 0552, 03-06-98 se quema por mala operación se monta MOAC 0555, se cambio para mantenimiento se bajo el 0552, 12-24-99 se envía a IME para mantenimiento, 10-14-2000 se cambio relé de controles térmicos, se coloco el relé térmico en serie con el relé de control, se cambio taco de los térmicos el 10-16-2000.

**\* MOTOR No.** 525M12  
**APLICACIÓN** BOMBA STOCK CHEST  
**CEDULA** 552  
**R.P.M.** 1175  
**H.P** 150  
**AMP** 190  
**VOLTIOS** 440  
**LOCALIZACIÓN** Primer piso de pulpa  
**CIRCUITO No** 2-1  
**FRAME** DS 540-6 ABIERTO  
**COS  $\phi$**  0.87

**OBSERVACIONES:** 05-22-95 revisión, se monta el 01-30-97 se cambio motor y arrancador el MOAC 1701, 07-03-97 se quemo por agua, se monta MOAC 1892, 11-02-2000 se cambio transformador de control de 500 VA, se armo completamente.

**\* MOTOR No.** 311M20  
**APLICACIÓN** ALIMENTADOR T-6  
**CEDULA** 1865  
**R.P.M.** 1170 1140  
**H.P** 5 7.5  
**AMP** 8.8 12.6  
**VOLTIOS** 440 460

**LOCALIZACIÓN** Primer piso de pulpa  
**CIRCUITO No** 2-10  
**FRAME** DS 540-6 ABIERTO  
**COS  $\phi$**  0.87

**OBSERVACIONES:** 10-26-92 entró en funcionamiento el de 7.5 HP en el sitio 311M20, se reparo ruido y bobina, 01-20-99 se instalo donde estaba el alimentador.

**\* MOTOR No.** 410M4  
**APLICACIÓN** TUBO MOJADO LÍNEA B

**CEDULA**  
**R.P.M.** 1710  
**H.P** 20  
**AMP** 27  
**VOLTIOS** 440

**LOCALIZACIÓN** primer piso de pulpa  
**CIRCUITO No** 2-3  
**FRAME** DS 320-4 ABIERTO  
**COS  $\phi$**  0.87

**OBSERVACIONES:** 05-10-95 se quemó por agua se monta MOAC 7073, 11-09-95 quemado por agua, 11-17-95 quemado por agua, 07-07-97 se cambio motor y base se monta MOAC 0861, 01-20-98 se quemó motor se monta MOAC 1444, 08-31-99 se cambio por bajo aislamiento, no se quemó, 02-15-00 se quemó por agua MOAC 0793 y se monto MOAC 0911.

**\* MOTOR No.** 420M7  
**APLICACIÓN** DIGESTOR SUPERIOR B  
**CEDULA** 1820  
**R.P.M.** 1200 900  
**H.P** 10 15  
**AMP** 16 21

<b>VOLTIOS</b>	440	440
<b>LOCALIZACIÓN</b>	mezanine digestores	
<b>CIRCUITO No</b>	2-3	
<b>FRAME</b>	540-6 ABIERTO	
<b>COS <math>\phi</math></b>	0.87	
<b>OBSERVACIONES:</b>	12-29-93 se bajo, 11-11-96 se baja para mantenimiento se monta MOAC 1803, 02-02-01 se envió a IME para mantenimiento.	

<b>* MOTOR No.</b>	420M21	
<b>APLICACIÓN</b>	BOMBA KAMIR 1	
<b>CEDULA</b>	519	
<b>R.P.M.</b>	1765	1789
<b>H.P</b>	150	150
<b>AMP</b>	209	178
<b>VOLTIOS</b>	440	460
<b>LOCALIZACIÓN</b>	tercer piso de pulpa	
<b>CIRCUITO No</b>	18-7	
<b>FRAME</b>	MBM 315S CERRADO	
<b>COS <math>\phi</math></b>	0.87	
<b>OBSERVACIONES:</b>	07-30-95 se quemo entre espiras, se coloco el de preblanqueo 650.	

<b>* MOTOR No.</b>	450M5	
<b>APLICACIÓN</b>	BOMBA DE DESCARGUE DE SODA	
<b>CEDULA</b>	1582	
<b>R.P.M.</b>	1120	
<b>H.P</b>	7.5	
<b>AMP</b>	11	
<b>VOLTIOS</b>	440	
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Frente a planta desmineralizadora	
<b>CIRCUITO No</b>	3-6	

**FRAME** DS 2520/6 ABIERTO  
**COS  $\phi$**  0.87  
**OBSERVACIONES:** Motor quemado por unidad, 01-13-97 se monto MOAC 0551, 01-03-00 se realiza mantenimiento, 09-01-00 se realiza mantenimiento, 11-15-00 limpieza y ajuste de bornes

**\* MOTOR No.** 450M6  
**APLICACIÓN** BOMBA DE DESCARGUE DE SODA  
**CEDULA** 1832-1565  
**R.P.M.** 1120  
**H.P** 7.5  
**AMP** 11  
**VOLTIOS** 440  
**LOCALIZACIÓN** Lado norte de la planta desmineralizadora  
**CIRCUITO No** 3-6  
**FRAME** DS 2520/6  
**COS  $\phi$**  0.87  
**OBSERVACIONES:** El 03-25-99 se cambio por repuesto, se envió al LTE para completar la ventilación y cambiar tapas; no se rebobino, 06-15-00 se realiza limpieza de contactos y ajuste de bornes, 09-09-00 se le realiza mantenimiento al motor, 12-12-00 se hace limpieza de contactos y ajuste de bornes

**\* MOTOR No.** 331M1  
**APLICACIÓN** BOMBA #1 DE AGUA SUCIA  
**CEDULA** 1910  
**R.P.M.** 1164  
**H.P** 37 Kw.  
**AMP** 61  
**VOLTIOS** 460  
**LOCALIZACIÓN** Desmedulado primer piso  
**CIRCUITO No** 1-4



**FRAME** MBM 250B

**COS  $\varphi$**  0.87

**OBSERVACIONES:** Se cambio motor por disparo de breaker 05-03-96, se monta MOAC 0703, se realiza mantenimiento al motor en 02-02-00, el 04-04-00 se realiza el cambio de porta térmicos y ajuste de bornes, 09-01-00 se realiza mantenimiento en general al motor, 12-15-00 se realiza mantenimiento al motor

**\* MOTOR No.** 530M2

**APLICACIÓN** AGITADOR TANQUE R-2

**CEDULA** 637

**R.P.M.** 875

**H.P** 30

**AMP** 41

**VOLTIOS** 440

**LOCALIZACIÓN** pulpa

**CIRCUITO No** 3-1

**FRAME** DS 422/6 ABIERTO

**COS  $\varphi$**  0.85

**\* MOTOR No.** 630M2

**APLICACIÓN** AGITADOR TANQUE DE HIPOCLORITO

**CEDULA** 0622

**R.P.M.** 875

**H.P** 30

**AMP** 41

**VOLTIOS** 440

**LOCALIZACIÓN** Blanqueo de hipoclorito

**CIRCUITO No** 18-5

**FRAME** DS 422/8 ABIERTO

**COS  $\varphi$**  0.87

**OBSERVACIONES:** Se lleno de agua pero siguió funcionando, se cambia aterrizado caída de agua se monto MOAC 0622, 02-02-00 se realizó I/P, 09-09-00 se realizó mantenimiento, se cambiaron térmicos y portatérmicos

**\* MOTOR No.** 630M1  
**APLICACIÓN** MEZCLADOR HIPOCLORITO  
**CEDULA** 0646  
**R.P.M.** 1875  
**H.P** 30  
**AMP** 41  
**VOLTIOS** 440  
**LOCALIZACIÓN** Blanqueo hipoclorito  
**CIRCUITO No** 3-2  
**FRAME** DS 422/8 ABIERTO  
**COS  $\varphi$**  0.87  
**OBSERVACIONES:** 12-20-00 mantenimiento, 01-10-00 se realizo I/P, 10-14-00 se realizo mantenimiento

**\* MOTOR No.** 530M4  
**APLICACIÓN** BOMBA TANQUE DE BAGAZO  
**CEDULA** 0486-445  
**R.P.M.** 1145  
**H.P** 60  
**AMP** 76  
**VOLTIOS** 440  
**LOCALIZACIÓN** Primer piso de pulpa  
**CIRCUITO No** 3-5  
**FRAME** DS 427/6 ABIERTO  
**COS  $\varphi$**  0.87  
**OBSERVACIONES:** 05-31-95 se hizo al acometida de otro motor 530M6 por daño en el breaker pendiente en su parada de maquina y pulpa normalizar, 06-06-

99 se quemó, 10-13-00 se quemó porque se llenó de pulpa, 01-14-00 se realizó I/P, 08-09-00 se realizó mantenimiento al motor.

**\* MOTOR No.** 620M4  
**APLICACIÓN** REPULPADOR LAVADORA CAUSTICA  
**CEDULA** 0609  
**R.P.M.** 1555  
**H.P** 7.5  
**AMP** 11  
**VOLTIOS** 440  
**LOCALIZACIÓN** cuarto piso de blanqueo  
**CIRCUITO No** 3-2  
**FRAME** 254T CERRADO  
**COS  $\phi$**  0.87  
**OBSERVACIONES:** 07-21-97 se realizó mantenimiento al motor se montó MOAC 1832, 01-07-00 se realizó I/P, 09-14-00 se realizó mantenimiento.

**\* MOTOR No.** 341 M5  
**APLICACIÓN** Bomba de agua de alta presión para lavado  
**CEDULA**  
**R.P.M.** 3600 3510  
**H.P** 15 17  
**AMP** 20 22  
**VOLTIOS** 440 440  
**LOCALIZACIÓN** segundo piso desmedulado  
**CIRCUITO No** 1-4  
**FRAME** HXUR 325 G1 ABIERTO  
**COS  $\phi$**  0.87  
**OBSERVACIONES:** 06-11-83 se cambió el motor de 10 HP por un motor de 15 HP, 12-12-00 se quemó por rodamiento delantero, se montó ; MOAC 0518, en 09-09-00 se realizó mantenimiento general al motor, 11-15-00 se realizó limpieza y

lubricación al motor, 12-12-00 se realizo termografía y se cambiaron porta térmicos

<b>* MOTOR No.</b>	361 M27
<b>APLICACIÓN</b>	Descargador No. 2
<b>CEDULA</b>	0478
<b>R.P.M.</b>	1755
<b>H.P</b>	30
<b>AMP</b>	78-39
<b>VOLTIOS</b>	220-440
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Fibra larga piso 1
<b>CIRCUITO No</b>	32502
<b>FRAME</b>	1LAY 183-4XB80 CERRADO
<b>COS <math>\varphi</math></b>	0.83
<b>OBSERVACIONES:</b>	02-01-00 se realiza mantenimiento en general al motor, 08-09-00 se hace mantenimiento al motor, 12-12-00 se realiza I/P al motor

<b>* MOTOR No.</b>	530M1
<b>APLICACIÓN</b>	AGITADOR DE TANQUE R-1
<b>CEDULA</b>	0645
<b>R.P.M.</b>	875
<b>H.P</b>	30
<b>AMP</b>	41
<b>VOLTIOS</b>	440
<b>LOCALIZACIÓN</b>	blanqueo de clorinacion.
<b>CIRCUITO No.</b>	3-1
<b>FRAME</b>	DS 422/6 ABIERTO
<b>COS <math>\varphi</math></b>	0.87

Esta es la información que se puede rescatar de cada motor, los registros de los valores de eficiencia no son tomados cada que el motor llega de una reparación, pero por el número de reparaciones y debido a que el tiempo de uso de cada motor es de aproximadamente 20 años el valor de eficiencia es muy bajo.

La calidad de las reparaciones depende de las empresas que realizan esta función al sector industrial, ya que existen variedad de métodos para rebobinar cada motor, algunos de estos métodos son los que deterioran la eficiencia de los motores debido a que no tienen como controlar las temperaturas elevadas que se usan en los procesos de reparación de los motores, y estas temperaturas afectan el núcleo y por ende la eficiencia del motor.

## 5. DAÑOS EN LOS MOTORES: REBOBINAR O REMPLAZAR?

Muchas compañías emplean motores eléctricos que tiene una reconocida trayectoria de economía, o, invierten un capital en motores de eficiencia energética para su uso en un nuevo proyecto.

Es conocido que el costo del ahorro de energía de aquellos motores comparados con los modelos de eficiencia estándar es generalmente el pago de la diferencia incremental entre el primero y varios meses de operación. La EPACK 92 dictamina que muchos de los motores normalmente usados desde octubre del 97 y en adelante serán diseñados como motores de eficiencia energética.

Para el uso en muchos de los procesos, la decisión de sí reemplazar un motor averiado por un nuevo modelo de eficiencia energética o reparar una unidad averiada existente no es un caso fácil de resolver. Muchas compañías nunca han desarrollado unas guías o políticas firmes considerando la decisión de reparar o reemplazar, por consiguiente muchos motores dañados son reparados, algunas veces repetidamente, casi por descuido o negligencia. Generalmente, el costo de reparar un motor averiado (aproximadamente por encima de 15 HP) es menor que el de un motor nuevo. El acta de energía del 92 no da unas directrices para esta decisión - Allí no hay unas guías claras para encontrar la eficiencia de un motor reparado-

Este capítulo sugiere que un concepto más formal puede ser considerado cuando se toma la decisión de reparar o reemplazar. La consideración puede ser dada a muchos otros factores en adición con el costo inicial de comparación. Tales factores pueden incluir:

- Condiciones y edad del motor
- Historia de operación y rebobinado del motor
- Tipo y aplicación del motor
- Especificaciones del motor
- Descuentos aplicables de la electrificadora

- Posibles ahorros de energía

Los posibles ahorros de energía se pueden cuantificar si es conocida la eficiencia actual del motor o si esta puede ser estimada. El efecto de los descuentos por parte de la electrificadora se puede aplicar de inmediato, también será fácilmente cuantificable. Sin embargo, muchos otros de los factores son más subjetivos en su naturaleza y no son fácilmente evaluables. No obstante, estos factores tendrán que ser considerados en la decisión global del proceso, pues ellos tendrán un impacto significativo sobre los costos y confiabilidad de la planta en el futuro.

### **5.1 Condiciones y edad del motor**

Desde hace unos 15 o 20 años existen motores de alta eficiencia que estuvieron disponibles como una alternativa para los motores de diseño estándar. Por consiguiente, cualquier motor comprado a mediados de los 70's o antes, tenía una eficiencia elevada aproximadamente igual estándar de los motores de hoy. Como se discutió anteriormente es probable que la eficiencia actual de cualquier motor que haya tenido múltiples reparaciones durante su tiempo de vida será menor que una eficiencia elevada. Como una muy burda comparación solamente, la tabla 1 muestra eficiencias elevadas para motores construidos hace más de 30 años.

La decisión de sí reparar o reemplazar especialmente motores pequeños, es generalmente tomada antes de enviar el motor al taller de servicio para su inspección. El costo esperado de la reparación incluirá el bobinado, mas el reemplazo de los cojinetes y en general el reaccionamiento del motor. Sin embargo con los motores antiguos a menudo ocurre que sus componentes están fundidas siendo innecesario repararlos o reemplazarlos cuando se desarma el motor. En ese caso el costo real de reparar el motor antiguo puede ser mucho mayor que lo anteriormente anticipado.

Comparado con un motor nuevo, una vez reparado este puede tener un tiempo de vida lejanamente semejante al de un motor nuevo. Sin embargo para un motor antiguo que haya tenido múltiples reparaciones puede ser un candidato a ser

reparado o reemplazado ya que el proceso de decisión depende del corto periodo de vida útil.

Tabla 5.1 Eficiencia nominal relativa de motores TEFC a 1800 rpm

<b>HP</b>	<b>ALT. EFIC. FRAME T</b>	<b>EFIC. STAN. FRAME T</b>	<b>EFIC. STAN. FRAME U</b>
3	87.5	80.0	84.0
5	87.5	82.5	84.5
10	89.5	86.0	87.0
20	91.0	88.0	89.0
40	93.0	90.2	90.5
60	93.6	91.0	92.5
100	94.5	91.0	93.0
150	95.0	92.0	93.5
200	95.0	93.0	94.0

Cuando un motor es enviado a un centro de servicio para ser rebobinado, en el taller generalmente se le retira las bobinas quemadas y averiadas, en un horno. En este proceso se debe hacer un cuidadoso control de temperatura (la temperatura de salida recomendada de la quema no debe exceder los 700<sup>0</sup> F), ya que puede resultar dañado el núcleo del estator y la forma de las ranuras. Además esto incrementaría las pérdidas en el núcleo y en el hierro del estator llevando el motor a una baja eficiencia. Cuando un proceso controlado de quema no ha sido bien hecho, un motor que ha tenido varias reparaciones a menudo incrementará sus pérdidas en el núcleo y bajará su eficiencia comparado con un motor nuevo. A no ser que una empresa tenga un amplio programa de manejo en el sitio (registro, estadísticas), y generalmente no se conozca cuando haya sido



rebobinado un motor, dará como resultado unas posibles pérdidas de eficiencia. No es económicamente práctico hacer pruebas a motores reparados para determinar su eficiencia actual. Muchos centros de servicios no hacen estas pruebas, y en tal caso el costo de tales pruebas puede ser elevado. Un método de estimación típica asume que las pérdidas en el núcleo de un motor encapsulado debido a un daño fortuito son cercanas al 30% de las pérdidas del motor. El proceso de quema puede causar un incremento en las pérdidas del núcleo del 10 al 20%, y que, a su vez pueden representar un incremento del 3 al 6% del total de las pérdidas. El resultado neto será un decremento entre el 0.2 y el 0.6% en la eficiencia real del motor. Es poco probable que un motor que haya sido rebobinado en cuatro o cinco oportunidades durante su tiempo de vida, arranque con una eficiencia del 93% por el contrario su eficiencia podrá estar por debajo del 90%.

## **5.2 Tipo y aplicación del motor**

La aplicación y el tipo de motor pueden tener un impacto sobre la decisión de si reparar o cambiar un motor. Por ejemplo, si el motor es para una aplicación en un servicio interrumpido y relativamente trabaja unas pocas horas en su operación, el costo del consumo de energía no será significativo, y lo mejor será reparar dicho motor. De lo contrario un motor para una aplicación crítica o sujeto a una operación continua, puede ser un mejor opciónado para remplazarlo, ya que existe el riesgo o probabilidad de que siga fallando. Frecuentemente las partes útiles de los motores averiados son usadas para reparar o remplazarlas en otros motores. Muchos motores son construidos para ciertas aplicaciones específicas. Tales motores son usados para cargas que requieren un alto torque de arranque o una alta capacidad de inercia, en montaje de equipos verticales con bridas, o en áreas donde no está disponible un voltaje. Algunos motores pueden tener una dimensión inusual en el eje, o ser motores de baja velocidad, cualquiera de los recursos puede ser aprovechable cuando se reemplaza un motor. En los motores antiguos los costos de cambiar las dimensiones de la carcasa pueden ser significativos y su reemplazo difícil. En tal, caso la alternativa de tiempo puede ser la reparación del

motor existente. Sin embargo con un amplio programa de manejo se puede lograr alargar la vida útil del motor planificando el mantenimiento cuando este sale de operación. Esto podría permitir una mayor flexibilidad y cargabilidad, al menos como incrementar los ahorros de energía con el diseño del nuevo motor. También puede notarse que en el acta de energía del 92 no se ha hecho énfasis acerca de la discusión de este tipo especial de motores. Entre los motores especiales que no han sido cobijados por la legislación están: los motores verticales, motores a una velocidad de 900 rpm, motores de base pequeña con brida, motores con un propósito definido y especial, motores con alto torque e igualmente motores a 575 voltios. Aproximadamente un tercio de los motores no están especificados. Tales motores pueden ser remplazados con motores de eficiencia estándar y pueden ser compatibles con la ley. Sin embargo, excepto para motores con servicio interrumpido o para diseños especiales de motores donde los modelos de alta eficiencia no están disponibles, la economía de remplazar con nuevos modelos de alta eficiencia similar, es indiferente a los requerimientos legales.

### **5.3 Especificaciones del motor**

Como la tecnología ha mejorado en años recientes así también la vida útil de los motores que se están fabricando. Las regulaciones sobre calidad eléctrica y mecánica que dicta el mercado, hacen que se pueda acceder a productos diseñados con mas confiabilidad y seguridad. Hoy en día, los motores que se ofrecen poseen una superioridad energética que probablemente no existía en los motores antiguos averiados. Las siguientes características son aplicadas a muchas marcas de motores de trabajo severo:

*Sistemas con aislamiento clase F*, los motores son construidos con más normas, además estos motores tienen un menor nivel de ruido comparado con antiguos motores de la Clase B (Temperatura rise de 80<sup>0</sup> C a plena carga). Hoy en día estos motores están diseñados con un mayor aislamiento en el estator para un mayor tiempo de vida sobre los antiguos diseños. ( Como una simple comparación por cada 10<sup>0</sup> C que se disminuya la temperatura por debajo del limite máximo

permitido, el tiempo de vida útil del aislamiento se aumentara en aproximadamente el doble).

*Mayor tamaño en los cojinetes*, ahora son hechos con un mayor tamaño de acuerdo a la norma, ello aumenta diez veces en promedio el tiempo de vida útil con referencia a los motores antiguos.

*Mejoras en los niveles de balance mecánicos*, ahora son posibles como norma en los diseños de los motores, degenerando en bajos niveles de vibración y un mayor tiempo de vida útil. Muchos motores estándar construidos recientemente tienen niveles de vibración muy por debajo de lo permitido por la norma NEMA.

*Tapas de entrada de los cojinetes*, tienen ahora mas normas para modelos de motores de servicio severo. La protección previene a los motores contra el sobre engranaje y la acumulación de grasa dentro del estator.

*Aislamiento externo de los cojinetes*, los conductos de los sellos que protegen al motor del polvo y de la contaminación están ahora a lo largo del eje, estas normas están como opción para muchos otros modelos.

*Otros beneficios usados*, son las capacidades mejoradas para operar con variadores de velocidad ajustables (Drive's), bajos niveles de ruido y/o mejora en los términos de la garantía que pueden ser posibles para diseños recientes.

Aunque implementar mejoras en las especificaciones del motor pueden dificultar cuantificar un primer calculo de los costos en los ahorros de energía, estos elementos son importantes para la evaluación total del costo durante el ciclo de vida útil, y deben ser factores presentes en la evaluación para tomar una decisión de reparar o reemplazar un motor.

#### **5.4 Posibles ahorros de energía**

Asumiendo que la eficiencia del motor averiado puede ser estimada, el ahorro anual de energía de un motor de alta eficiencia comparado con un motor reparado puede ser fácilmente cuantificado así:

$$S = 0.76 \times (L) \times (HP) \times (C)(N) \left( \frac{1}{E_x} - \frac{1}{E_R} \right)$$

donde         $S$  = ahorro anual de energía  
               $L$  = porcentaje de carga en la placa del motor  
               $HP$  = caballos de fuerza en placa  
               $C$  = costo de la potencia (\$/Kw/h)  
               $N$  = horas anuales de operación  
               $E_X$  = eficiencia del motor existente  
               $E_R$  = eficiencia del motor reemplazado

Las eficiencias usadas en esta formula pueden ser las eficiencias de la carga actual. Por ejemplo, si  $L=0.75$  (indica que el motor normalmente opera a 3/4 de su carga), las eficiencias mas usadas son para valores de 3/4 de carga.

Las curvas de eficiencia contra energía de los motores generalmente tienden al pico con aproximadamente 3/4 de su carga, con frecuencia coinciden con la curva del motor con carga en uso. Las curvas de la eficiencia tienden a caer ostensiblemente para operaciones menores a 1/2 de la carga o mayores a plena carga. Nótese que la continua operación de un motor con un factor de servicio de 1.15 puede no solamente tener efecto sobre el detrimento o recorte anticipado de la vida del estator, sino también causar la reducción de la eficiencia de operación. Como se sabe, la eficiencia original de un motor averiado será mucho menor que el valor actual después de múltiples reparadas. Podemos asumir que la eficiencia original elevada de un motor construido hace mas de 20 años no es mayor que la de un motor de eficiencia estándar de hoy (la eficiencia energética de esos modelos nunca existió). Además que la eficiencia corriente después de que un motor ha sido sometido a reparación se puede disminuir mas del 2 al 3 %. Sin embargo por conservación, se asume que en los siguientes cálculos no se toma la reducción de eficiencia.- La eficiencia de un motor averiado es la misma que la de un motor de eficiencia estándar de hoy -. Entonces, calcularemos el ahorro anual de energía de un motor reparado contra uno nuevo, y comparemos el ahorro con el costo de un motor rebobinado y refaccionado.

Las tablas 5.2 (a)(b) y (c) resumen estos cálculos para motores de 1 a 250 HP y para velocidades de 3600, 1800 y 1200 rpm. El periodo de reembolso simple se calcula tomando el tiempo para el ahorro de energía del motor nuevo que equivale a la diferencia entre el costo de un motor reparado y un nuevo. El periodo aceptable de reembolso varía de compañía a compañía, pero considerando otros beneficios de los nuevos motores como se considero previamente, cualquier tiempo menor a 24 meses puede ser considerado como un buen reintegro.

Si el costo de reparar excede el costo del nuevo motor, el reembolso aparece como cero.

La tabla 2 incorpora las siguientes suposiciones:

$C = 0.06$  \$/Kw/h del costo de energía

$L = 1.0$  a plena carga

$N = 8000$  horas al año ( por poco operación continua )

$E_x$  = la misma eficiencia estándar del motor

$E_R$  = la eficiencia especificada en el EPACT'92

Los niveles de alta eficiencia son equivalentes a los del EPACT. La eficiencia estándar esta determinada por datos publicados por varios de los fabricantes. El ahorro anual de energía esta calculado por la formula anterior, usando la eficiencia de la columna 2 y 3 de la tabla 5.2.

El costo del nuevo motor esta calculado usando un 45% de descuento publicado por la compañía en la lista de precios.

El costo de la reparación fue tomado en el artículo de 1995 de precios nacionales promedios de reparación. Incluyen el rebobinado del estator, reemplazo de ambos cojinetes, y en general el reaccionamiento del motor.

Los años de reembolso es el costo del modelo nuevo contra la diferencia del costo incremental dividido por el ahorro anual de energía.

*Ejemplo:*

Un motor de 50 HP, 1800 rpm, con una nueva eficiencia de 93%, se asume que la eficiencia del motor averiado es de 90.2%. El ahorro anual de energía con el nuevo motor puede costar \$ 1801; entonces, la diferencia entre un motor nuevo y el reparado ser de \$ 530 (1801-1271). El periodo de reembolso es de 0.89 años

(530/598). Si se usa el criterio de reembolso a los 24 meses siempre se establecerá que se emplace un motor de 100 HP y menos de 3600 rpm, 150 HP y menos de 1800 rpm, y quizás 25 HP y menos de 1200 rpm.

Las correcciones se puede hacer para diferentes costos de potencia y/o horas de operación calculado para un rango simple de ahorro de energía. Por ejemplo si la potencia cuesta 8 centavos/Kw/h y la operación es de 7500 horas anualmente, el ahorro de energía para un motor de 50 HP, 1800 rpm será:  $\$598^*$   $(7500/8000)*(8/6)=\$748$ , y el periodo de reembolso ser  $530/748 = 0.71$  años.

En Resumen:

Cuando se usa la tabla 5.2 como una guía. Los reajustes pueden ser hechos para cada caso particular.

- A. Ahorros anuales de energía. Tales variables como el costo de energía y las horas de operación, pueden ser ajustadas al rango de la tabla por exceso o por defecto.
- B. Los costos de un nuevo motor pueden ser calculados usando el costo actual de su proveedor.
- C. Los costos de reparación pueden ser estimados usando los precios reales del centro de servicio.
- D. Para uno o todos los ítems calculados, los años de reembolso cambiaran de acuerdo a cada caso.

Tabla 5.2 Eficiencia a 3600 RPM

HP	EFIC. ESTAN.	ALTA EFIC.	AHORR. ANUALES ENERGIA	COST. DEL NUEV MOTOR	COST. DE REPARC.	DIFERENC, NUEV. CON REPARADO	AÑOS DE RE-EMBOL.
1.5	0.800	0.825	20	213	332	-119	0
2.0	0.810	0.840	31	255	343	-88	0
3.0	0.810	0.855	70	273	370	-97	0
5.0	0.810	0.875	164	337	399	-62	0
7.5	0.820	0.885	241	408	468	-60	0
10.0	0.850	0.895	212	476	518	-42	0
15.0	0.855	0.902	327	655	640	15	0.04
20.0	0.855	0.902	436	819	710	100	0.23
25.0	0.860	0.910	572	997	838	159	0.28
30.0	0.870	0.910	543	1163	921	242	0.45
40.0	0.880	0.917	657	1532	1158	374	0.57
50.0	0.980	0.924	740	1980	1284	696	0.94
60.0	0.890	0.930	1038	2609	1539	1070	1.03
75.0	0.900	0.930	963	3273	1768	1505	1.56
100	0.910	0.936	1093	4386	2206	2180	1.99
125	0.920	0.945	1287	5737	2699	3038	2.036
150	0.920	0.945	1545	6885	3033	3852	2.49
200	0.930	0.950	1621	8973	3723	5250	3.24
250	0.940	0.950	1002	11534	4306	7228	7.21

## CONCLUSIONES

- La selección de los motores de alta eficiencia de acuerdo a su potencia se realiza igual que si fuera un motor estándar . Solamente hay que considerar que sus parámetros de operación son diferentes, entre ellos la eficiencia que es mayor. Además, cuando se selecciona un motor de menor capacidad, la eficiencia de la maquina seleccionada y el factor de potencia puede ser menor que la original , debido a la natural reducción de la eficiencia con la potencia nominal .
- Cuando se realiza el análisis económico hay que tener en cuenta tanto la variación en la potencia seleccionada, como la diferencia en cuanto a costo por Kw. de potencia nominal, que en el caso de los motores de alta eficiencia es mayor.
- Las condiciones de rentabilidad exigen que el cambio de un motor signifique una reducción económicamente ventajosa de las perdidas totales de potencia activa del conjunto sistema motor.
- Al aplicar los métodos de evaluación económica se debe optimizar el tiempo de vida útil del motor para así obtener datos reales confiables con este sistema.
- Para obtener mejores resultados en un proyecto de ahorro de energía se deben operar los motores a una cargabilidad nominal para que haya una mejor recuperación de la tasa interna de retorno (TIR).
- Se demostró que el cambio de los motores antiguos que trabajaban con una baja eficiencia por los motores que están contruidos con una eficiencia alta resulta más favorable en un estudio de ahorro de energía ya que estos consumen menos energía entregando la potencia adecuada para las cargas manejadas a nivel industrial.



## BIBLIOGRAFÍA

PERCY R., Viego, QUISPE O., Enrique. Aplicación eficiente de motores asíncronos, selección, normas y ahorro de energía. Santiago de Cali: Contactos Mundiales, 2000. 80 p.

PERCY R., Viego. Ahorro de energía eléctrica en instalaciones industriales. Santiago de Cali: CUAO, 1999.4V.

CAMPBELL B. Failed Motors: Rewind or Replace? Atlanta Georgia: IEEE Industry Applications. Magazine. 1997. 5p.

SEN P. Principles of electrical Machines and Power Electronics. John Wiley & Sons. New York. July 1989. 60 p.

Seminario de Calidad y Ahorro de Energía. (1:2000: Santiago de Cali). Calidad y Ahorro de Energía. Santiago de Cali, 2000.